جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

التحليل العملي لإزالة منشأ منخفض الطوابق باستخدام النمذجة بطريقة العناصر التطبيقية

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية – قسم الهندسة الإنشائية

إعداد :

م. محمد نضر العلبي

إشراف :

الدكتور محمد درويش

دمشق 2012

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

التحليل العملي لإزالة منشأ منخفض الطوابق باستخدام النمذجة بطريقة العناصر التطبيقية

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية – قسم الهندسة الإنشائية

إعداد :

م. محمد نضر العلبي

إشراف :

الدكتور محمد درويش

لجنة الحكم السادة :

الدكتور محمد درويش	الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية	كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق	الاختصاص : الإنشاءات المعدنية	عضواً مشرفاً
الدكتور حافظ صادق	الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية	كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق	الاختصاص : الديناميك الإنشائي	عضواً
الدكتور مصطفى بطيخة	المدرس في قسم الهندسة الإنشائية	كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق	الاختصاص : الإنشاءات المعدنية	عضواً

دمشق 2012

الموجز

طريقة العناصر التطبيقية (Applied Element Method)، طريقة جديدة في التحليل و الحساب الإنشائي، تعتمد على تقسيم المنشأ لعناصر تطبيقية منتهية تتصل بين بعضها عن طريق نوابض تحمل مواصفات المادة. تتميز هذه الطريقة بالقدرة على دراسة المنشأ في كافة مراحل عمله و بكل أشكال الحمولات حتى الفائقة منها وصولاً للانهيار، و قدرتها على فصل العناصر عن بعضها وإعطاء صورة واضحة عن أشكال الانهيار الناتجة. دلت الدراسات النظرية و المرجعية و دراسات التقييم على الوثوقية العالية لهذه الطريقة و دقة نتائجها.

استخدمت طريقة العناصر التطبيقية (AEM) عن طريق برنامج ®ELS، لنمذجة مجموعة من الأبنية منخفضة الارتفاع ذات الجمل الإطارية بالحالة المستوية ممثلة لحالة الوضع الراهن لأبنية قديمة يراد إزالتها. و طبق على هذه النماذج إزالة مجموعات محددة من العناصر الحاملة (الأعمدة) بعدة أشكال للحصول على انهيار بشكل انهيار متتابع (Progressive Collapse). درست أشكال الانهيار الناتجة و وضعت مجموعة من النتائج و التوصيات التي تفيد لاحقاً بتنفيذ أعمال الهدم و الإزالة للأبنية المراد التخلص منها مع تحديد مسافات الأمان الدنيا لكومة الأنقاض الناتجة عن الانهيار.

الإهـــداء

أتقدم بالشكر الجزيل **للدكتور محمد درويش** على متابعته الصادقة و الأفكار الجيدة التي قدمها لي للعمل في هذا البحث و للتشجيع الكبير الذي أبداه لطرح الأفكار الجديدة، و للأوقات الطويلة التي قضيناها في مناقشة و تدقيق كل مفصل من مفاصل العمل. له مني كل التقدير و الاحترام.

كما أود أن أتقدم بالشكر و الإمتنان **لوالدتي** التي ترعاني دائماً و تدفعني للمزيد من العمل و التقدم. و إلى **والدي** الذي أقتاد بخطاه على درب الحياة. إلى **أختي** المساندة دائماً و **عائلتها** الرائعة. و **خالي** العزيز الذي لا يتردد بتقديم إي مساعدة رغم بعده عنا. لكم مني كل المودة و الحب و التقدير.

كما أود شكر كل الأصدقاء و الزملاء الذين ساهموا بأوقاتهم و مساعدتهم لتقديم الدعم و الإرشاد و المعونة، فشكراً.

شكراً للجميع لدعمهم و مساندتهم

فهرس الجداول

صفحة

فهرس الأشكال

صفحة

الفهرس العام :

الفصل الأول

مقدمة

1.1. تمهيد :

نتيجة للتطور الحاصل في مجال الإنشاءات و طرائق الحساب و التحليل الحديثة المعتمدة على الكودات العالمية الجديدة و التي تمنح الإمكانية في الحصول على منشآت و أبنية ذات مواصفات عالية و تستغل المساحات بشكل أفضل، ظهرت الحاجة للتخلص من الأبنية القديمة التي كانت تعتمد على مواد البناء ذات المواصفات المنخفضة و المنفذة على أسس تصميم قديمة نتج عنها سوء باستخدام الفراغ.

كما أن هذه الأبنية و نتيجةً لتصميمها و تنفيذها بطرائق البناء التقليدية المستخدمة في وقتها تعرضت لقوى لم تكن محسوبة عليها (هزات أرضية) و لعوامل جوية و ظروف محيطة لم تسمح مواد البناء الداخلة فيها بمقاومتها مما سبب بإهتراء و تآكل هذه المنشآت و تصدعها، مما دفع في كثير من الحالات لإجراء أعمال التدعيم و الإصلاح التي تعتبر ذات تكلفة عالياً جداً.

لذلك كان لا بد من الاهتمام بدراسة الأساليب و الطرق التي يمكن استعمالها لإزالة تلك الأبنية ليعاد استخدام المساحات التي تشغلها، و خاصة في قلب المدن، لإنشاء أبنية حديثة ذات فعالية أكبر وقدرة على مقاومة المحيط و القوى المختلفة التي تتعرض لها و الزلزالية منها خاصة.

كما أن الطرق التقليدية التي تستخدم في حالات الإزالة، كاستخدام الآليات الخفيفة كالكمبرسورات و المطارق، و الثقيلة كالكرات الحديدة أو غيرها لتكسير المنشأ لأجزاء ثم نقله، تعتبر هذه الطرق ذات تكلفة عالية لحاجتها لاستخدام معدات كثيرة و قوة بشرية كبيرة، كما أنها طرق غير آمنة و لا تراعي الجوار من ناحية الأنقاض المتناثرة و المتساقطة من المبنى، كذلك فإنها ذات فعالة منخفضة جداً للأبنية الكبيرة.

فكان لا بد من استخدام الطرائق الجديدة و العلمية المعتمدة على الانهيار المتتابع "Progressive Collapse" التي يمكن تطويرها لإزالة و تفكيك المنشآت، كما أنها تساعد على السرعة في الإنجاز و التكاليف المنخفضة مقارنة مع الطرائق التقليدية.

2.1. هدف البحث :

انطلاقاً من الحاجات المذكورة سابقاً فإن الدراسة الحالية تعتمد المنهج العلمي الموضح لاحقاً لتحقيق الأهداف المحددة بالنقاط التالية :

- معرفة الأشكال الحقيقية لانهيارات الأبنية منخفضة الارتفاع، ذات جمل إطارية، عن طريق إزالة بعض العناصر الإنشائية، و ذلك بهدف إزالة كامل المنشأ.
- دراسة و تحليل شكل الانهيار لمعرفة مدى تأثيره على الخطة الواجب و ضعها لإزالة المنشأ، و ذلك بأقل الكلف الممكنة و الأضرار الناتجة عن الإزالة.
- وضع اقتراحات عملية تفيد في الدراسات اللازمة لتنفيذ مشاريع الهدم و الإزالة للمنشآت القديمة أو التي يراد التخلص منها لعدم كفاءتها.

3.1. خطة البحث :

لتحقيق الأهداف السابقة، تم اعتماد المنهج التالي في البحث :

1. اختيار مجموعة من الأبنية الطابقية منخفضة الارتفاع، حتى خمسة طوابق.
2. إزالة مجموعة من العناصر الإنشائية من الجملة لإحداث انهيار في المبنى بشكل **انهيار متتابع (Progressive Collapse)**، حيث تعرف الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين ASCE هذا الانهيار بـــ : "انتشار القصور الموضعي لأحد العناصر لبقية العناصر بشكل متتالي، مما يسبب في النهاية الانهيار الكامل للمنشأ أو لجزء كبير منه".
3. لإجراء التحليل الإنشائي اللازم، يجب استخدام طريقة جديدة في التحليل هي طريقة العناصر التطبيقية (Applied Element Method)، حيث تؤمّن هذه الطريقة تحليل المنشأ في جميع مراحل التحميل و هي :

أ. مرحلة الحمولات الشاقولية، و الانتقالات الصغيرة.

ب. مرحلة تطبيق الحمولات الفائقة، و الانتقالات الكبيرة.

ج. مرحلة حدوث التشققات و انتشارها و تشكيل المفاصل اللدنة و بدء الانهيار.

د. مرحلة انفصال العناصر عن بعضها و خضوعها لحركة الأجسام الصلبة.

ه. مرحلة الانهيار التام متضمنة تصادم العناصر مع بعضها أو مع الأرض.

4. التأكد من الانهيار الكامل في المبنى، بالشكل المطلوب للانهيار، و محققاً الأمان اللازم.

4.1. محتويات البحث :

يتألف البحث من ستة فصول هي كالتالي :

الفصل الأول : عبارة عن مقدمة نظرية لأنواع الحمولات الفائقة التي تخضع لها المنشآت، و تأثير هذه الحمولات على العناصر الإنشائية و طرق دراسة المنشآت الخاضعة لهذه الحمولات، مع استعراض لأهم البرامج الحاسوبية المستخدمة في التحليل الإنشائي. كما يشتمل الفصل على أهداف و خطة البحث.

الفصل الثاني : يستعرض طريقة التحليل الجديدة، طريقة العناصر التطبيقة، مع شرح و توضيح لأهم ميزاتها و طريقة تشكيل العناصر فيها و تكوين النماذج للعناصر الإنشائية المختلفة. كما يعرض الفصل لأهم الدراسات المرجعية و التقيمية التي أجريت للتأكد من وثوقية الطريقة و دقة النتائج المستخرجة من خلالها لكافة أشكال الحمولات و أنواع التحليل المختلفة، الستاتيكية و الديناميكة.

الفصل الثالث : يهتم ببرنامج التحليل المستخدم في الدراسة، برنامج (Extreme Loading® for Structures)، و الذي يعتمد على طريقة العناصر التطبيقية كأساس نظري له. حيث يُعرض في هذا الفصل لأهم المعاملات و البرامترات الواجب استخدامها في البرنامج و كيفية تحديدها، مع شرح بسيط لأهم ميزات البرنامج و عرض لدراسات التقيم التي أجريت للتأكد من فعاليته في نمذجة و دراسة المنشآت المعرضة للحمولات الفائقة.

الفصل الرابع : عبارة عن الدراسة التطبيقية للبحث، حيث يُعرض في هذا الفصل خطوات المنهج المتبع في الدراسة لتحديد و اختيار الجملة الإنشائية موضع البحث و الممثلة لحالة وضع راهن لمبنى يراد إزالته (مبنى منخفض الطوابق ذو جملة إطارية)، كذلك يبين الفصل طريقة الحصول على مجموعة النماذج التي سيتم إجراء التحليل عليها باستخدام طريقة العناصر التطبيقية، و طريقة نمذجتها في برنامج ®ELS، مع تحديد مجموعة من أشكال الانهيار المتوقعة و طريقة الحصول عليها بإزالة عدد من العناصر الحاملة (الأعمدة).

الفصل الخامس : يعرض الفصل لنتائج التحليل التي أجريت على النماذج المختارة في الفصل السابق، مع تعريف لمجموعة من القيم التي تتعلق بخط انتشار الأنقاض الناتجة عن الانهيار. كما يتم في هذا الفصل دراسة تأثر المتغيرات المدخلة على النماذج المختارة (فتحة الإطار، نسبة التسليح، مقاومة البيتون و تكثيف التسليح العرضي) على كومة الأنقاض الناتجة كما يتم تشكيل علاقة تقريبية تحدد قيمة خط انتشار الأنقاض و تساعد في تحديد مسافة الأمان الواجب إخلاءها من محيط المنشأ المراد إزالته. كما يعرض الفصل للطريقة الواجب اتباعها لإحداث انهيار ظفري تام تتشكل فيه الأنقاض من جهة واحدة فقط و ذلك بإضافة شدادات من الجهة المعاكسة و طريقة تقدير القوة التصميمية التي تخضع لها هذه الشدادات.

الفصل السادس : يستعرض النتائج النهائية التي تم التوصل لها من البحث في الفصول السابقة، بالإضافة لوضع مجموعة من الاقتراحات التي يمكن أن تساعد في أعمال الإزالة للمنشآت المنخفضة، و مجموعة من التوصيات للأبحاث المستقبلية.

كما يحوي البحث على **ملحق** يُعرض فيه أشكال الانهيار الناتجة لكل النماذج الأساسية التي تم إجراء الدراسة عليها و لم تعرض ضمن فصول البحث السابقة.

تعرض هذه المقدمة أنواع الحمولات الفائقة التي يمكن أن تخضع لها المنشآت، و تأثير هذه الحمولات على العناصر الإنشائية المكونة للمنشأ من أعمدة و جوائز و بلاطات و عقد. كذلك توضح طرائق التحليل التي يمكن استخدامها في دراسة المنشآت الخاضعة للحمولات المختلفة و أهم البرامج الحاسوبية المعروفة و المستخدمة في مجال التحليل الإنشائي.

5.1. الحمولات فوق العادية أو الفائقة :

Abnormal / Extreme loads

يمكن أن تخضع المنشآت لمجموعة من الحمولات الفائقة (Abnormal loads)، و التي تنتج في أغلب الأحيان عن الانفجارات أو الاصطدامات أو الأخطاء البشرية و تقسم بشكل عام لـــ :

حمولات الصدم :

تتألف بشكل رئيسي من الصدمات الناتجة عن الآليات أو الطائرات بالمنشآت، هذه الأحمال تكون صعبة القياس في العادة بسبب أن قساوة الجسم الصادم يعتبر ذو تأثير مهم و يجب أن يأخذ في الحساب ونتيجة للاختلافات الكبيرة في الأجسام التي يمكن أن تسبب الصدمات فإن حسابها يعتبر من الأمور الصعبة. [5]

الحمولات النبضية : [5]

تضم الانفجارات الغازية و الناتجة عن القنابل، و يعتبر التفاعل الكيميائي الناتجة و درجة شدته من العناصر الأساسية المؤثرة في مقدار هذه الحمولات، حيث تقسم لنوعين بحسب شدة التفاعل الكيميائي :

أ. انفجارات ضعيفة : تنتج غالباً عن احتراق الغاز و تطلق طاقتها بشكل احتراق سريع.

ب. انفجارات شديدة : مثل الـــ TNT و نترات الأمونيا حيث تطلق طاقتها عن طريق نبضة انفجارية كبيرة الشدة.

التأثير البشري :

تتشكل أحمال فائقة تخضع لها المنشآت بسبب التأثير البشري ناتجة إما عن الأخطاء التصميمة أو إزالة الدعائم الساندة للعناصر الإنشائية قبل اكتسابها القوة اللازمة لتحمل وزنها، أو إزالة العناصر الإنشاية الحاملة بشكل مقصود أو غير مقصود.

إن إزالة العناصر الإنشائية الحاملة و تشكل حمولات فائقة هو المستخدم في الدراسة و المستخدم بشكل عام بهدف إحداث أضرار كبيرة في المنشأ و تشكل انهيار متتابع بهدف انهيار كامل المنشأ لإزالته.

1.5.1. استجابة العناصر للحمولات الفائقة : [5]

إن الفترة الزمنية التي تحدث فيها الحمولة النبضية أو الفائقة تعتبر قصيرة جداً و تشكل جزء صغير من دور المنشأ، لذلك فإن هذه الحمولة لا تؤثر في الجملة الإنشائية بشكل كامل ولكن يكون التأثير محلي و على العناصر الخاضعة لهذه الحمولة مما يسهم في حدوث الانهيار المتتابع.

أظهرت الدراسات السابقة نوع السلوك الذي يسيطر على كل عنصر من العناصر الإنشائية المشكلة للجملة عند تعرضه للحمولات النبضية الانفجارية.

استجابة الأعمدة :

تظهر سيطرة القص في التأثير على سلوك الأعمدة نظراً لوجود تسليح طولي كافٍ لمقاومة الانعطاف و بسبب أن تسليح القص العرضي ذو تباعدات كبيرة في الأغلب لا تستطيع مقاومة الانهيار الناتج عن القص.

كذلك بالنسبة للأعمدة المعدنية فإن طريقة الربط بالقاعدة تؤثر بشكل كبير على السلوك، ففي حالة التثبيت عن طريق صفيحة قاعدة فإن الانهيار يحدث عند مستوي براغي الربط. أما إذا كانت الأعمدة مستمرة فإن الانهيار على العزم يعتبر مسيطراً.

استجابة الجوائز :

تعتبر استجابة الجوائز معقدة نتيجة للحمولات النبضية الانفجارية، بسبب حدوث فتل نتيجة الحمولة و ارتباط الجوائز بالبلاطات التي فوقها. كذلك فإن سلوك الأعمدة المرتبطة بالجوائز يزيد من تعقيد نوع الاستجابة و يؤثر عليها.

استجابة البلاطات :

تعتبر البلاطات ضعيفة بالنسبة للحمولات الانفجارية لأنها بالأساس غير مصممة على الحمولات الرافعة، فهي تؤثر على المنشأ بسبب انهيارها المباشر حيث تفقد الأعمدة تربيطها مما يزيد من أطوال الأعمدة و يسبب عدم استقرار و انثناء فيها و يسرع من عملية الانهيار.

استجابة العقد :

تعتبر العقد من العناصر الهامة جداً في المنشآت لأنها الناقل الأساسي للحمولات، حيث أن العقدة المصممة و المنفذة بشكل جيد تزيد من استقرار المنشأ حتى عند حدوث انهيار لأحد العناصر المرتبط بها وذلك لقدرتها على تحقيق ترابط للمنشأ بشكل عام مما يسهل توزيع الحمولات على العناصر الباقية. لذلك فإن انهيار العقد يؤدي مباشرة لانهيار المنشأ.

إن الحمولات الانفجارية و نتيجة لاثرها الديناميكي تغير من مواصفات مادة العقدة و تؤثر على مقاومتها مما ينقص من مطاوعة العقدة و يغير من التشوهات اللدنة. كذلك فإن العقد تخضع لشد و عزم مجتمعين نتيجة لتشوهات الجوائز مما يزيد في تعقيد استجابة و تأثر العقد.

تشكل قوى الكبلات (Catenary Forces) :

عند انهيار الأعمدة تتشكل لدينا فتحات جديدة مكونة من فتحتين من المنشأ الأساسي، فإذا كانت العقدة ذات مطاوعة جيدة و قدرة على الدوران فإنها ستساهم في نقل القوى بشكل جيد مما يزيد من تشوه المجاز الجديد. و تبدأ الجوائز بنقل الحمولات و القوى بشكل شد بدلاً عن الانعطاف و تسلك هذه العناصر (الجوائز و العقدة الرابطة) سلوك الكابلات الرابطة بين الأعمدة، و تصبح العقدة معرضة لقوة شد تسمى قوى الكبلات (Catenary Forces).

في أغلب الحالات لا تستطيع العقدة تحمل قوى الشد المتشكلة و تنهار وتسبب انهيار الجوائز و البلاطات المربوطة معها.

2.5.1. سلوك المنشأ الخاضع للانهيار المتتابع :

عندما يتعرض المنشأ الهندسي لأحد الحمولات الفائقة التي قد تسبب انهيار أو إزالة أحد عناصره، فإن الحمولات الخاضع لها سيعاد توزيعها و سيتم هذا التوزيع بأحد الآليات التالية :

أ. العمل الكبلي (Catenary action) : للجوائز و البلاطات مما يربط العناصر المتجاورة عن طريق الحمل الإنشائية الحاملة للقوى الشاقولية.

ب. جوائز فيرينديل (Vierendeel) : التي تتشكل من الإطارات التي تقع فوق العناصر المنهارة أو المزالة.

ج. المقاومة التي تبديها العناصر الغير إنشائية و التي لا تكون محسوبة بالعادة ولكنها تستطيع تحمل بعض القوى مثل القواطع و غيرها.

فعندما تستطيع أحد أو كل هذه الآليات أن تتشكل فإن الانهيار الكلي للمبنى لا يحدث و يتطلب ذلك وجود عناصر ذات مقاومة و تصميم جيد يسمح بتشكل هذه الآليات. أما عند تعذر ذلك فإن تشكل انهيار متتابع (Progressive Collapse) يصبح حتمياً مما يدفع كامل المنشأ للانهيار.

6.1. التحليل الإنشائي للحمولات الفائقة : [5]

يمكن استخدام أربع طرائق لدراسة و تحليل أي منشأ، تختلف هذه الطرائق عن بعضها بالزمن اللازم لاستخدامها :

التحليل الستاتيكي الخطي :

هذا التحليل هو أبسط أشكال التحليل المستخدمة، و قادر فقط على إعطاء نتائج بسيطة و أساسية، و يعتبر مفيداً لتحليل المنشآت البسيطة لأن التأثير الديناميكى و لاخطية المواد لا تدخل في الحساب، لذلك فمن المستحيل بالتحليل الستاتيكي الخطي توقع سلوك المنشأ في حالات الانهيار المتتابع.

التحليل الستاتيكي اللا خطي :

يسمح هذا التحليل بإدخال الخواص اللاخطية للمواد، و يعتبر خطوة متقدمة عن التحليل السابق لأنه قادر على الأخذ بعين الاعتبار تغيرات مواصفات المواد. و لكن بسبب عدم أخذ التأثيرات الديناميكية فيبقى قاصراً عن توضيح و فهم سلوك المنشآت.

التحليل الديناميكي الخطي :

يعتبر التحليل الديناميكي بشكل عام أكثر تعقيداً من التحليل الستاتيكي و يتطلب وقتاً أكبر في إجراء عملية التحليل و لكن يزيد من الدقة بشكل كبير حيث يدخل التحليل الديناميكي كل المعاملات و التأثيرات الديناميكة المطلوبة مما يعطي صورة أوضح عن سلوك المنشآت. و لكن يعتبر التحليل الديناميكي الخطي قاصراً بسبب عدم إدخال تأثير التغير في مواصفات المواد و التأثير اللاخطي لها.

التحليل الديناميكي اللا خطي :

يعتبر هذا النوع من التحليل الأكثر دقة و تفصيلاً من أنواع التحليل، حيث يغطي كافة أنواع التأثيرات الهندسية (كتأثير P-Δ) و اللاخطية و مواصفات المواد (كالتشوهات و القساوات و غيرها) و المعاملات الديناميكة، مما يعطي الصورة الأوضح عن سلوك المنشآت و يعتبر التحليل الأمثل المستخدم في نمذجة المنشآت المعرضة للحمولات الفائق و الانهيارات المتتابعة.

و لكن يحتاج هذا التحليل لزمن أطول في النمذجة و التحليل اللازم للنموذج. لذلك تعتبر الطريقة المتبعة للنمذجة و نوع النموذج عامل أساسي و اقتصادي في الدراسة بسبب أن أغلب الدراسات تحتاج لإعادة تحليل النموذج أكثر من مرة.

7.1. برامج التحليل :

توجد العديد من البرامج الحاسوبية التي يمكن استخدامها في التحليل الإنشائي و لكن ليست جميعها مؤهلة للقيام بدراسة الانهيارات المتتابعة. تختلف قدرات كل برنامج بحسب نموذج المواد المستخدم فيها و مقدار التأثيرات الديناميكة المعتمدة فيه.

FLEX

هو مجموعة من الكودات البرمجية التي وضعت في الثمانينات (1983)، يمكن استخدامها لنمذجة المنشآت الخاضعة للحمولات الانفجارية و حمولات الصدم. يمكن اجراء التحليل الديناميكي اللاخطي بواسطة هذا البرنامج حيث يملك القدرة على إدخال تأثيرات مختلفة في النموذج. استخدم من قبل البحث الذي أجري لصالح مؤسسة (Weidlinger Associates) من قبل كل من (Hansen, et al. 2005) لوضع قاعدة بيانات لاستجابة منشآ لإزالة أعمدة فيه مع تغير عدد من مواصفات هذا المنشأ. [5]

LS-DYNA

وضع هذا البرنامج بشكل أساسي ليكون برنامج تحليل ديناميكي معتمد على العناصر المنتهية للاستخدامات العامة من قبل شركة Livemore ثم حدث تعاون مع ANSYS Inc. لوضع برنامج مخصص للتحليل الإنشائي. استخدم في كثير من الأبحاث في الولايات المتحدة و بريطانيا، كما أمكن من خلاله دراسة تأثير حمولات الانفجار و إزالة العناصر وبينت هذه الأبحاث قدرة LS-DYNA على توقع نماذج الانهيار للمنشآت و العناصر المكونة لها و الخاضعة لحمولات فائقة. [5]

PERFORM 3D و ETABS ،SAP2000

تعد شركة CSI من أهم الشركات المنتجة لبرامج التحليل الإنشائية و المخصصة للهندسة المدنية، تأسست هذه الشركة من جامعة كالفورنيا في بيركلي سنة 1975، و من أهم برامجها SAP2000 الذي يعتبر البرنامج القياسي المستخدم في العالم للحساب الزلزالي، يعمل البرنامج بالحساب الديناميكي اللاخطي ويعتبر برنامج ETABS نسخة البرنامج المخصصة لمنشآت الأبنية الطابقية. يعد برنامج PERFORM 3D البرنامج الأحدث لدى الشركة و الذي يعتمد على حساب المنشآت باعتماد الأداء مما يجعله الأكثر فائدة في مرحلة التصميم.

أظهرت الدراسات التي استخدمت فيها هذه البرامج أنها ممتازة في حالة المنشآت التي تبقى مستقرة أثناء التحميل و لكن في حالات الانهيار المتتابع لا تستطيع هذه البرامج متابعة الانهيار بسبب عدم قدرتها على فصل العناصر عن بعضها، لذلك فإنها تستطيع توقع حدوث انهيار في المنشأ و لكن عند بدأ الانهيار فإنها تعجز عن متابعته ومعرفة شكله النهائي.

Extreme Loading for Structures®

هو برنامج جديد يعتمد طريقة جديدة في الحساب الإنشائي هي طريقة العناصر التطبيقية (Applied Element Method)، حيث أن أغلب البرامج الأخرى تعتمد طريقة العناصر المنتهية FEM و يمكن إجراء التحليل الديناميكي اللاخطي بواسطته. استخدم ELS® في إجراء التحليل لكثير من مشاريع الهدم و التحقق من أسباب انهيار المنشآت. و هو البرنامج المعتمد و المستخدم في هذا البحث.

باستعراض البرامج السابقة و غيرها من البرامج نجد أن لكل منها ميزاتها التي تتفوق بها على الأخرى و لا نستطيع الجزم بأن أحدها هو الأفضل في تحليل و دراسة الانهيارات المتتابعة، كذلك فإن لكل منها نواقصه التي قد تكون في طريقة تشكل و توزع الأحمال أثناء الانهيار أو بنموذج المواد المستخدمة أو بشروط الانهيار أو بالمبدأ النظري، لذلك فمن الضروري تتبع التطورات الحاصلة في مجال البرمجيات لتحديد الأفضل منها لدراسة الانهيارات. [5]

الفصل الثاني

طريقة العناصر التطبيقية

Applied Element Method

1.2. مقدمة :

تقسم طرائق التحليل العددية المستخدمة في التحليل الإنشائي لمجموعتين أساسيتين : [11][10]

أ. **طرائق المواد المتصلة Continuum Material Methods** :

حيث تعتبر طريقة العناصر المحدودة FEM أهم هذه الطرق، و لها الخصائص التالية :

- دقة عالية في الحساب الإنشائي في مراحل التحليل كافةً وصولاً للانهيار و تشكل التشققات.
- استخدام تقنيات معقدة نسبياً لتمثيل التشققات، التي قد تحتاج لتحديد مسبق لمكان التشقق (Discrete Crack Methods)، أو تعتبر التشقق وهمي (Smeared Crack) مما يمنع حدوث انفصال للعناصر.
- عدم القدرة على إجراء التحليل ما بعد الانهيار و دراسة تصادم العناصر و اتصالها مع بعضها في هذه المرحلة، و دراسة انتقالات الانهيار الكبيرة التي قد تصل إلى عشرات الأمتار.
- تستطيع هذه الطرق الإجابة عن السؤال المهم : **"هل سينهار المنشأ ؟"**

ب. **طرائق العناصر المتمايزة Discrete Element Methods** :

من أهم هذه الطرق، طريقة RBSM "Rigid Body and Spring Model"، و طريقة EDEM " Extended Distinct Element Method"، و لها الخصائص التالية :

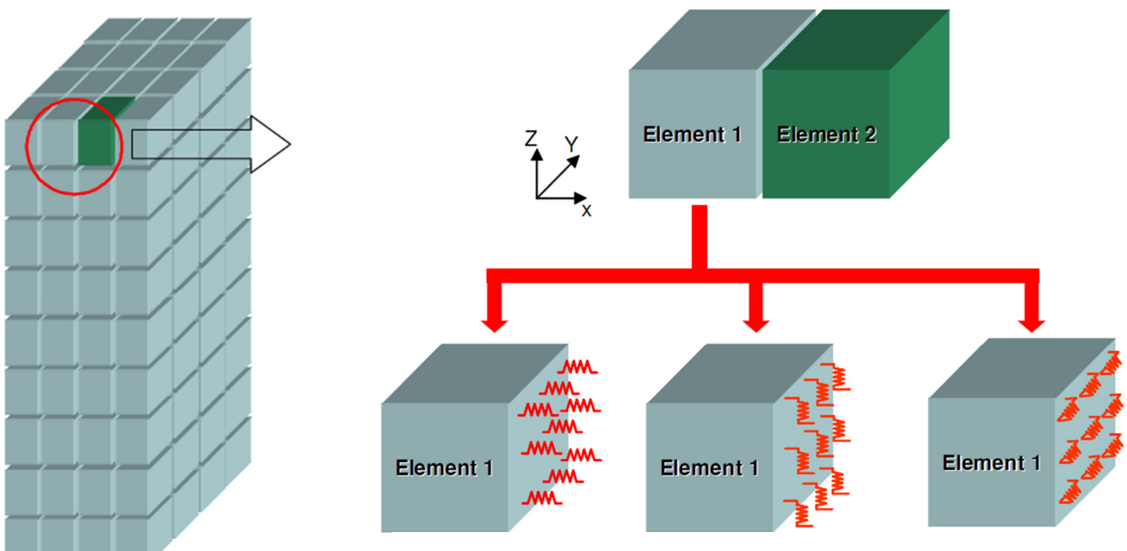
- سهولة في تمثيل التشققات، رغم أنها تعتمد بشكل كبير على شكل و حجم و ترتيب العناصر المتمايزة.
- سهولة فصل العناصر عن بعضها البعض لتشكيل الانهيار و دراسته وصولاً للانهيار الكامل.
- دقة قليلة في الحساب الإنشائي لمراحل التحليل كافة، حيث تحتاج لتقسيم العناصر بأحجام صغيرة و إجراء التحليل بخطوة زمنية صغيرة جداً للحصول على نتائج معقولة مقارنة بالطرق الآخرى.
- لذلك تستطيع هذه الطرق الإجابة عن السؤال المهم الثاني : **"كيف سينهار المنشأ ؟"**

و للإجابة عن السؤالين السابقين و بدقة جيدة في الحساب و بزمن معقول فسيتم استخدام طريقة التحليل الجديدة "**طريقة العناصر التطبيقية AEM**"، التي يعرض هذا الفصل خصائصها و المواصفات التي تميزها عن طرائق التحليل السابقة.

2.2. طريقة العناصر التطبيقية :
Applied Element Method

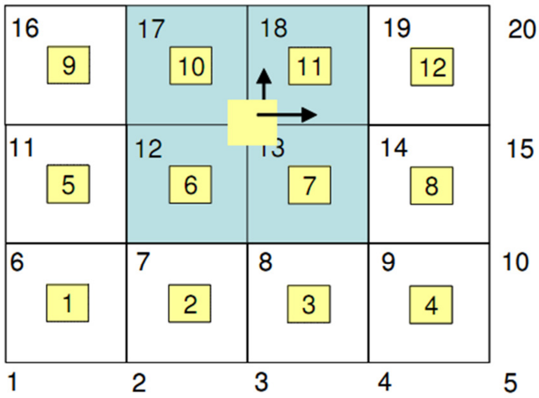
أسست طريقة العناصر التطبيقية في جامعة طوكيو على يد "حاتم تاج الدين" خلال بحثه لرسالة الدكتوراه في عام 1998 (Tagel-Din, 1998)، حيث كان الحافز الأساسي من وراء هذا البحث هو الوضع الزلزالي الشديد لمنطقة اليابان، و الإدراك أن المنشآت الموجودة يمكن أن تنهار بسبب هذه الكوارث، فكان لا بد من وجود طريقة تحليل يمكن أن تستخدم لدراسة المنشأ خلال مراحل عمله كافة وصولاً للانهيار بسبب الزلازل، و ما بعد الانهيار انتهاءً بالشكل الناتج عن انهيار المنشأ، لذلك ظهرت طريقة التحليل الجديدة الــ AEM لتتجاوز الصعوبات و تحل المشاكل التي كانت تظهر في التحليل نتيجة استخدام الطرق القديمة المعروفة.

تعتمد طريقة العناصر التطبيقية على تقسيم المنشأ إلى عناصر صغيرة مكعبيه –على الأغلب–، حيث تتصل هذه العناصر مع بعضها البعض من خلال مجموعة من النوابض الناظمية و القصية التي تتوزع بنقاط على كامل السطح الواصل بين العنصرين المكعبين، كما في الشكل (1.2.2). بحيث يوجد في كل نقطة اتصال نابض ناظمي واحد و نابضين قصيين باتجاهين متعامدين.



الشكل 1.2.2 : نوابض الاتصال في طريقة العناصر التطبيقية [4]

تستخدم طريقة العناصر المحدودة FEM طريقة اتصال العناصر بين بعضها بواسطة العقد، لذلك فإن جميع العناصر المتصلة بنفس العقد تملك نفس الانتقال.

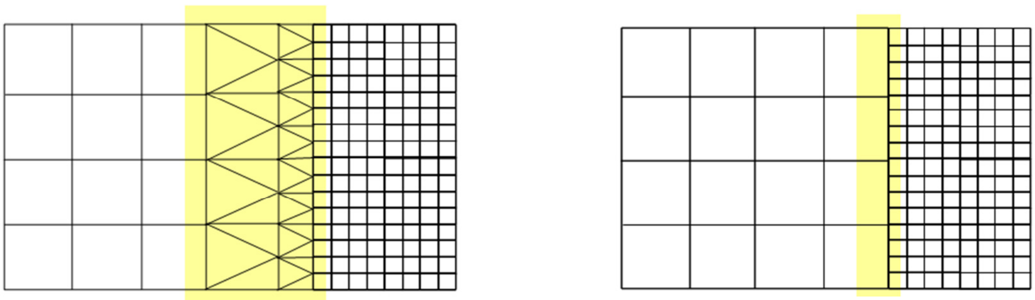


الشكل 2.2.2 : اتصال العناصر في الــ FEM [4]

يعتبر هذا النوع من الوصل مناسباً في حالة الدراسة التي تفترض عدم انفصال العناصر عن بعضها، و لكن في حالة الانهيارات فإنه لا بد من فصل العناصر لتمثيل الانهيار بالشكل الأمثل، لذلك فإن الطريقة المقترحة للاتصال في طريقة العناصر التطبيقية AEM تمنح مجموعة من الميزات التي تتفوق فيها على طرق التحليل الآخرى.

1.2.2. الانتقال بين العناصر مختلفة الحجم :

تفرض حاجة الدراسة التحليلية وجود عناصر منتهية مختلفة الحجم، مما يسبب صعوبة في حالة الربط بين هذه العناصر، حيث تفرض الــ FEM ارتباط العناصر بين بعضها بالعقد، مما يوجب وجود عناصر انتقالية للربط، كما هو في الشكل (3.2.2)، مما يسبب العديد من المشاكل أهمها الزيادة الكبيرة في عدد العناصر مما يزيد الزمن اللازم للحساب. [18]



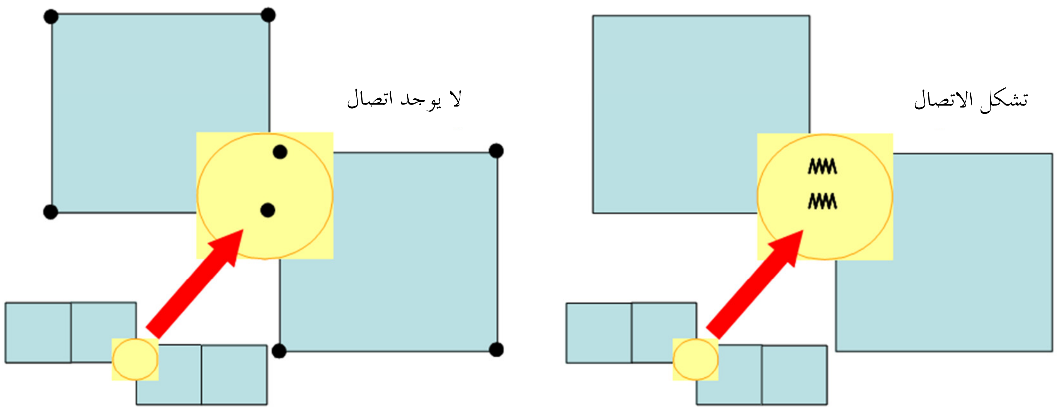
أ. تقسيم العناصر بالــ AEM لاحاجة للعناصر الانتقالية

ب. تقسيم العناصر بالــ FEM وجود عناصر انتقالية

الشكل 3.2.2 : الفرق بالعناصر الانتقالية بين الــ AEM و FEM [4]

2.2.2. الاتصال الجزئي بين العناصر :

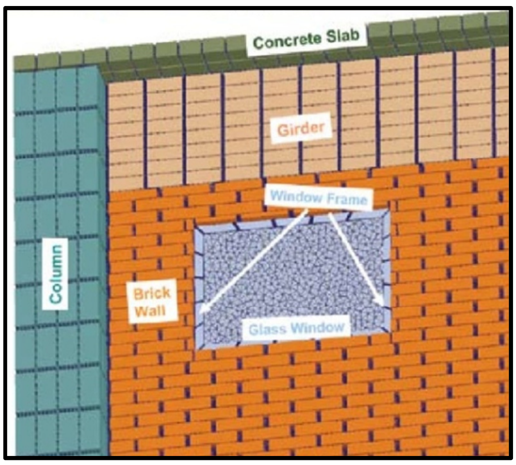
يمكن أن تتصل العناصر في الــ AEM بين بعضها حتى لو كان الاتصال جزئي بين الأسطح، حيث يمكن أن تتشكل نوابض ربط في النقاط المتصلة فقط، غير أن طريقة العناصر المحدودة تحتاج لعناصر إضافية لتمثيل الاتصال الجزئي بسبب عدم القدرة على الربط المباشر لعدم وجود اتصال في العقد، كما هو موضح في الشكل (4.2.2). [18]



الشكل 4.2.2 : طريقة الاتصال الجزئي في الــ AEM [4]

3.2.2. تقسيم العناصر Meshing :

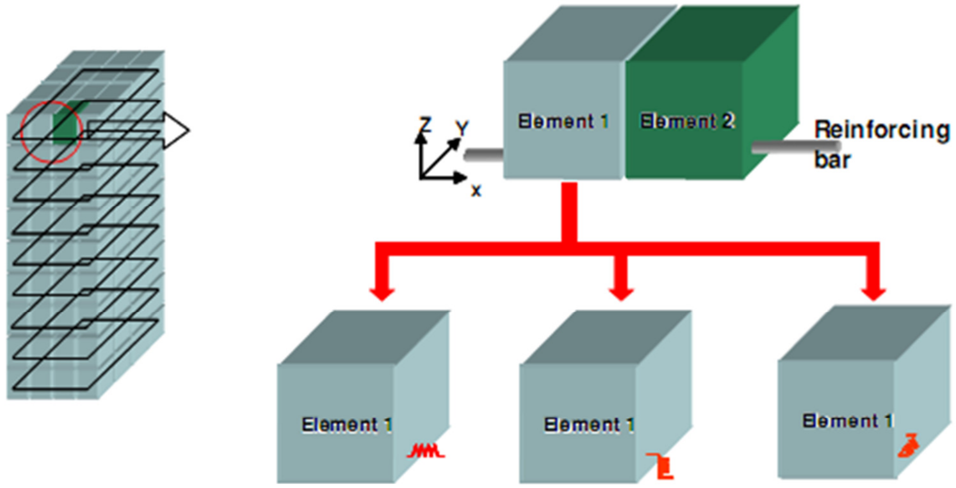
الاتصال المقترح عن طريق الأسطح يمنح سهولة كبيرة في عملية تقسيم عناصر المنشأ لعناصر منتهية، حيث أن تقسيم (Meshing) أي جزء من المنشأ في الطرق الآخرى يحتاج للعناية بالعناصر المحيطية التي في أغلب الأحيان تختلف في تقسيماتها عن بعضها مما يسبب صعوبة في عملية التقسيم و تشكيل عناصر انتقالية بين الأجزاء المختلفة. [18]



الشكل 5.2.2 : تقسيم العناصر المختلفة في طريقة العناصر التطبيقية [4]

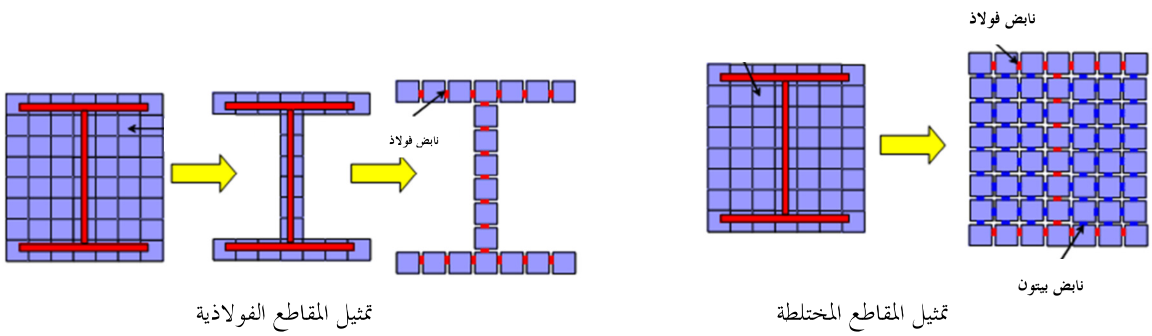
4.2.2. تمثيل الحديد و فولاذ التسليح

تمنح النمذجة بطريقة العناصر التطبيقية القدرة على تمثيل فولاذ التسليح في البيتون المسلح بشكل دقيق، حيث يمكن تحديد موقع كل قضيب من قضبان التسليح ، الطولي و العرضي، كما هو في الشكل (6.2.2). حيث يتم تمثيل كل قضيب بمجموعة من النوابض، نابض ناظمي و نابضين قصيين، يحدد موقعهما بمكان قضيب التسليح، حيث يكون النابض الناظمي موازي لقضيب التسليح و يمثل النابضين القصيين سلوك القضيب على القص، تأخذ هذه النوابض خواصها من حيث القساوة و التشوه من خصائص الفولاذ الذي تمثله.



الشكل 6.2.2 : تمثيل فولاذ التسليح في الـــ AEM [4]

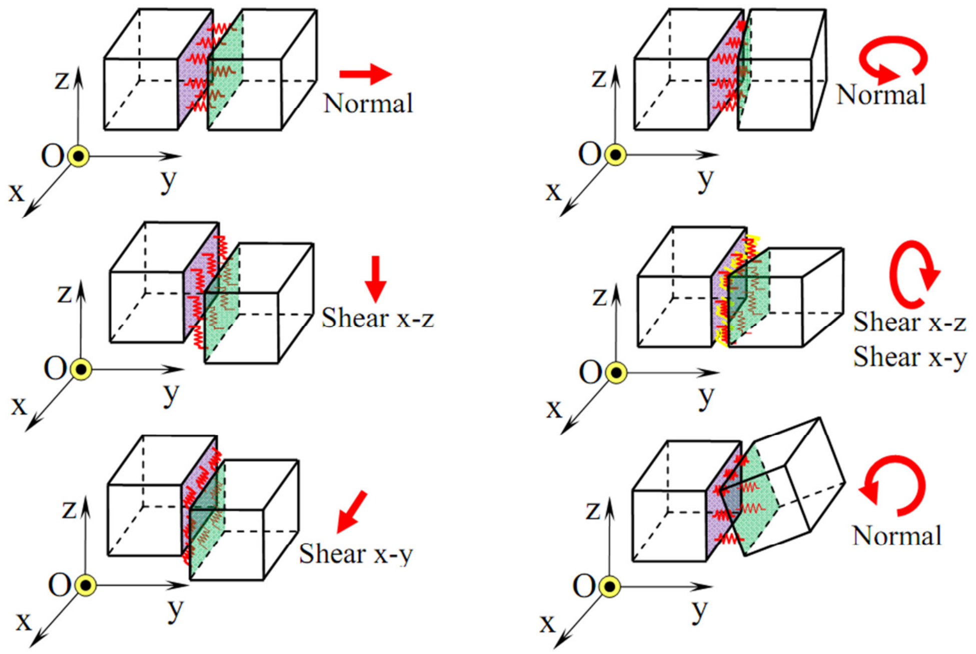
كذلك الأمر بالنسبة للمقاطع الفولاذية أو المقاطع المختلطة، حيث تبين الأشكال التالية طرق نمذجتها بالـــ AEM.



الشكل 7.2.2 : تمثيل المقاطع المعدنية و المختلطة في الـــ AEM [4]

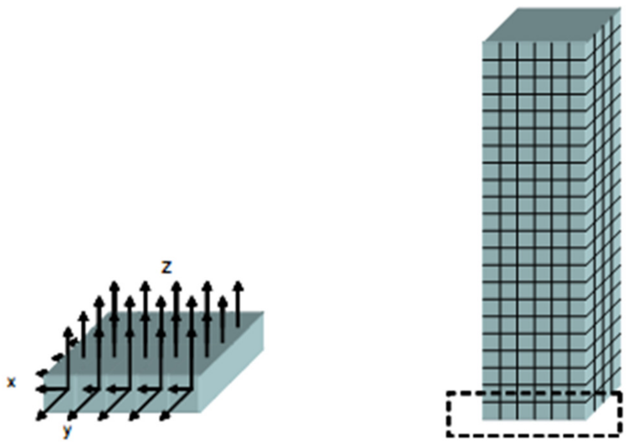
5.2.2. درجات الحرية

يبين الشكل (8.2.2) درجات الحرية لكل عنصر من العناصر التطبيقية، ثلاث انتقالات و ثلاث دورانات.



الشكل 8.2.2 : درجات الحرية في الـــ AEM [9]

كما أنه يمكن تمثيل جميع أنواع المساند و ذلك بتقييد عدد من العناصر المكعبية بالاتجاه الموافق للمسند، حيث ين الشكل (9.2.2) طريقة تمثيل المسند الثابت، حيث يتم تقييد الانتقالات في جميع الاتجاهات لجميع العناصر في القاعدة.



الشكل 9.2.2 : طريقة نمذجة المسند الثابت في الـــ AEM [4]

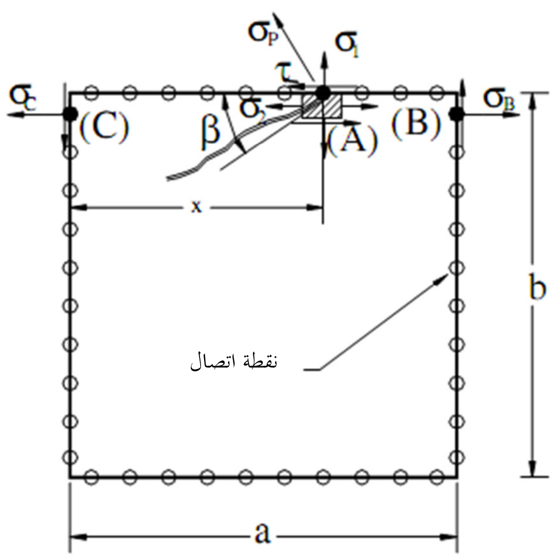
3.2. تمثيل التشققات و معيار الانهيار

في طريقة العناصر التطبيقية (AEM): [15]

تعتبر عملية تمثيل التشققات من أهم الأمور الواجب الاهتمام بها لدراسة انهيار المنشآت، فتحديد مكان تشكل الشقوق يعد أمراً حاسماً لتحديد طريقة بداية الانهيار و تسلسل عملية الانهيار.

يمثل الشكل عنصراً تطبيقياً مربعاً، تنتشر على محيطه نقاط الاتصال التي يمكن إيجاد الإجهاد الناظمي σ_1 و الإجهاد المماسي τ في كل منها، كما يمكن حساب الإجهاد الثانوي σ_2 عن طريق الإجهادات الناظمية في النقاط B و C كما يلي :

$$\sigma_2 = \frac{x}{a}\sigma_B + \frac{(a-x)}{a}\sigma_C \qquad (1.2)$$



الشكل 1.3.2 : حساب الإجهادات الرئيسية [15]

فيكون إجهاد الشد الرئيسي كما يلي :

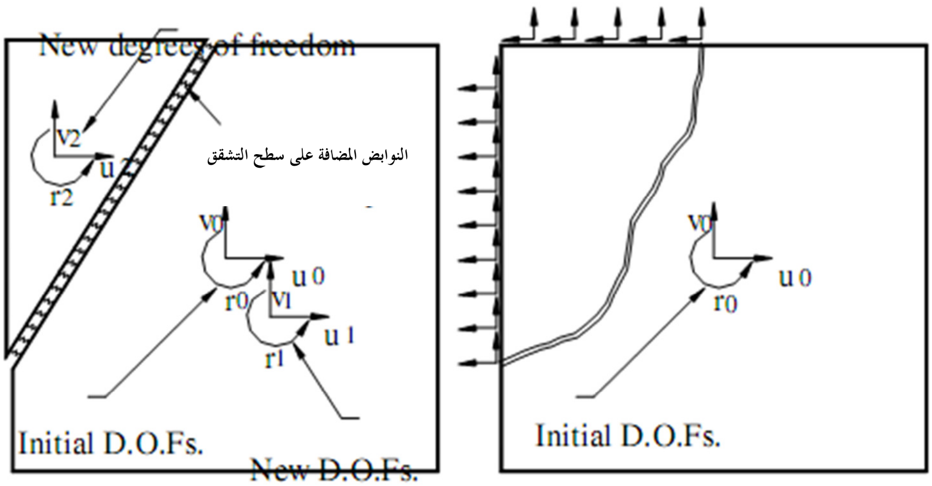
$$\sigma_P = \left(\frac{\sigma_1+\sigma_2}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{\sigma_1-\sigma_2}{2}\right)^2 + \tau^2} \qquad (2.2)$$

تتم مقارنة الإجهاد الرئيسي σ_p مع مقاومة المادة المدروسة على الشد، فعند تجاوز الإجهاد الرئيسي تلك المقاومة يحدث الانهيار و يبدأ تشكل التشققات.

كذلك يتم حساب ميل التشقق بالنسبة لسطح العنصر عن طريق الزاوية β التي تحسب كما يلي :

$$\tan(2\beta) = \left(\frac{2.\tau}{\sigma_1 + \sigma_2}\right) \qquad (3.2)$$

بعد تحديد مكان التشقق و اتجاهه، يتم تمثيل التشقق بواسطة تقنيتين أساسيتين، مبينتان بالشكل (4.3.2) :



أ. توزيع القوى في النوابض على سطح التشقق

ب. توزيع القوى في النوابض على محيط العنصر

الشكل 2.3.2 : التقنيات المستخدمة في الـــ AEM لتمثيل التشققات [15]

أ. تعتمد **التقنية الأولى** على تقسيم جديد للعنصر عند سطح التشقق، بحيث ينتج لدينا عنصرين جديدين يملك كل منهما درجات الحرية الكاملة، تمنح هذه الطريقة أربع ميزات أساسية :

1. إعادة توزيع الإجهادات يتم بشكل دقيق.
2. يمكن تمثيل اتجاه التشقق داخل العنصر بشكل دقيق.
3. يمكن حساب عرض التشقق بشكل دقيق.
4. كما يمكن تمثيل الانهيار الناتج عن الضغط بشكل دقيق بنفس الطريقة.

ولكن بالمقابل فإنها تملك الكثير من التعقيدات و الصعوبات أهمها :

1. زيادة كبيرة في عدد العناصر الناتجة.
2. زيادة كبيرة في الوقت اللازم للتحليل.

3. صعوبة كبيرة في حساب قساوة النوابض الجديدة الناتجة على سطح التشقق، بسبب أن النابض لا يمكنه أن يمثل مساحة محددة كالنوابض الأخرى، مما يعطي نتائج خاطئة و خاصة في حالات التحميل الدوري عندما تلتقي أسطح الشقوق مع بعضها البعض مرة أخرى.

4. ظهور الكثير من التعقيدات الناتجة عن استمرار و انتشار التشققات، حيث أن التشققات يجب أن تكون متصلة مع بعضها البعض.

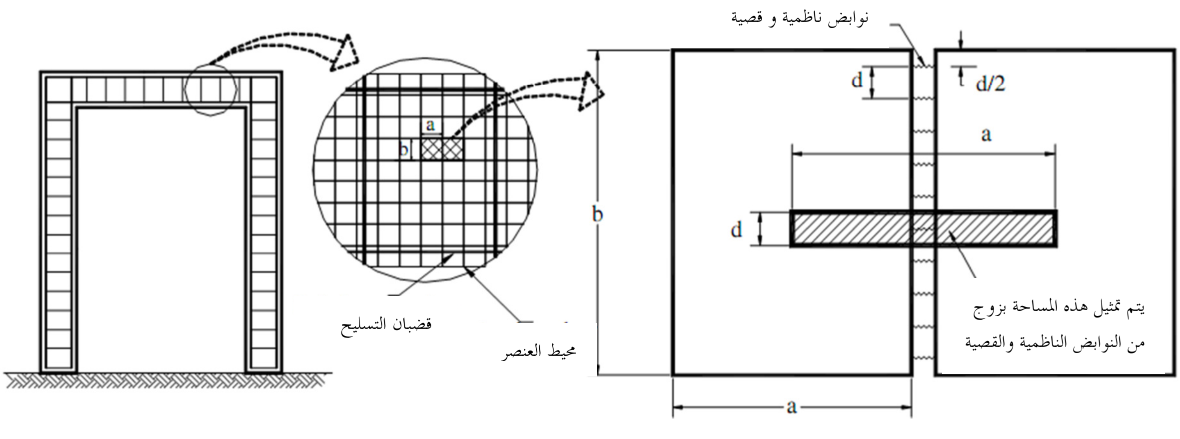
ب. تعتمد **التقنية الثانية** على تمثيل الانهيار داخل العنصر بواسطة النوابض المحيطية، فعندما يصل أحد النوابض لمرحلة الانهيار يتم إتباع الخطوات التالية :

1. توزيع القوى على النوابض المجاورة.
2. نتيجة إعادة التوزيع، فإن الإجهادات في النوابض المجاورة تزداد مما يسبب وصولها لحالة الانهيار.
3. تعطى النوابض المنهارة قيمة الصفر لقساواتها.

تعطي هذه الطريقة نتائج سهلة و دقيقة بدون تعقيدات التقنية السابقة، ولكن المشكلة الأساسية فيها هي عدم القدرة على حساب عرض التشقق الناتج.

4.2. صيغة العناصر بطريقة العناصر التطبيقية : [10]

يتم تمثيل المنشأ بطريقة العناصر التطبيقية بتقسيمه بشكل افتراضي لعناصر صغيرة، كما في الشكل (1.4.2)، حيث تتصل العناصر مع بعضها البعض بمجموعة من النوابض التي تتوزع على محيط العنصر.



الشكل 1.4.2 : صيغة العناصر في الـــ AEM [10]

كل نقطة من نقاط الاتصال يوجد فيها نابض ناظمي و آخر قصي، تمثل كل مجموعة نوابض الإجهاد و التشوه لمنطقة محددة (المنطقة المظللة في الشكل 1.4.2)، حيث يتم حساب قساوة النوابض بالشكل التالي :

من قساوة العنصر الخطي $k = \frac{E.A}{L}$ حيث أن :

E معامل المرونة (معامل يونغ)، A مساحة العنصر، L طول العنصر

مما يعطي : قساوة النابض الناظمي (4.2) $K_n = \frac{E.d.T}{a}$

و كذلك قساوة النابض المماسي (5.2) $K_s = \frac{G.d.T}{a}$

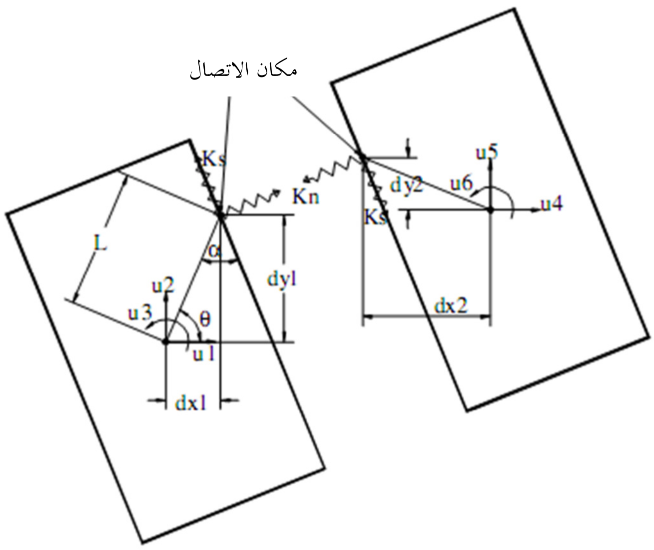
حيث أن :

d المسافة بين كل نقطة اتصال (مجموعة نوابض)، T سماكة العنصر التطبيقي المربع

G معامل القص للمادة، a طول العنصر

تبين العلاقات السابقة أن كل نابض يمثل قساوة مساحة هي d*T بطول العنصر المدروس a، أما عندما يكون النابض ممثل لفولاذ التسليح فإن المساحة تكون مساحة القضيب.

يمثل الشكل (2.4.2) التالي عنصرين تطبيقيين متصلين بنابض ناظمي واحد و آخر قصي.



الشكل 2.4.2 : تشكيل مصفوفة القساوة لعنصرين مرتبطين بمجموعة نوابض واحدة [10]

لحساب مصفوفة القساوة للجملة السابقة، فإنه يتم افتراض انتقال واحدي في جهة درجة الحرية المدروسة و قوى واحديه في مراكز العناصر، مما ينتج مصفوفة القساوة من الشكل التالي :

$$\begin{bmatrix} K_1 & -K_1 \\ -K_1 & K_1 \end{bmatrix}$$

حيث أن : (6.2)

$$K_1 = \begin{bmatrix} \begin{matrix} Sin^2(\theta+\alpha)K_n \\ +Cos^2(\theta+\alpha)K_s \end{matrix} & \begin{matrix} -K_n Sin(\theta+\alpha)Cos(\theta+\alpha) \\ +K_s Sin(\theta+\alpha)Cos(\theta+\alpha) \end{matrix} & \begin{matrix} L.K_s Sin(\alpha)Cos(\theta+\alpha) \\ -L.K_n Sin(\theta+\alpha)Cos(\alpha) \end{matrix} \\ \\ \begin{matrix} -K_n Sin(\theta+\alpha)Cos(\theta+\alpha) \\ +K_s Sin(\theta+\alpha)Cos(\theta+\alpha) \end{matrix} & \begin{matrix} Sin^2(\theta+\alpha)K_s \\ +Cos^2(\theta+\alpha)K_n \end{matrix} & \begin{matrix} L.K_n Cos(\theta+\alpha)Cos(\alpha) \\ +L.K_s Sin(\theta+\alpha)Sin(\alpha) \end{matrix} \\ \\ \begin{matrix} L.K_s Sin(\alpha)Cos(\theta+\alpha) \\ -L.K_n Sin(\theta+\alpha)Cos(\alpha) \end{matrix} & \begin{matrix} L.K_n Cos(\theta+\alpha)Cos(\alpha) \\ +L.K_s Sin(\theta+\alpha)Sin(\alpha) \end{matrix} & \begin{matrix} L^2 Cos^2(\alpha)K_n \\ +L^2 Sin^2(\alpha)K_s \end{matrix} \end{bmatrix}$$

(الرموز المذكورة في المصفوفة مبينة في الشكل (2.4.2))

المصفوفة السابقة هي لمجموعة واحدة من النوابض، لذلك للحصول على المصفوفة العامة، يتم تجميع مصفوفات القساوة لكامل النوابض المحيطية مما يعطي المصفوفة الكاملة التي تدخل في حساب القوى و الانتقالات بحسب المعادلة :

$$[K_G].[\Delta]=[F] \qquad (7.2)$$

حيث أن :

$[K_G]$ مصفوفة القساوة العامة، $[\Delta]$ شعاع الانتقالات العام، $[F]$ شعاع القوى المطبقة

5.2. تقييم طريقة العناصر التطبيقية (AEM) :

يبين الجدول (1.5.2) التالي المجالات التي يمكن فيها استخدام طريقة العناصر التطبيقية، حيث أنها طريقة مناسبة لمجالات التحليل كافة ابتداءً بالتحليل الستاتيكي العادي بانتقالات صغيرة وصولاً لتحليل ديناميكي كامل بجميع أنواع التحميل، حيث يوضح الجدول رقم المرجع الذي قام بالدراسة و التقييم للطريقة لتحديد قابليتها للاستخدام.

الجدول 1.5.2 : مجالات تطبيق طريقة الـــ AEM [10]

		حمولة ستاتيكية		حمولة ديناميكية	
Geometry	المادة	عادية	دورية	عادية	دورية
انتقالات صغيرة (خطي)	مرنة	مرجع [10]	مرجع [12]	مرجع [16]	مرجع [17]
	لا خطية	مرجع (15)			
انتقالات كبيرة (لا خطي)	لدنة	مرجع [13]			
	لا خطية	(في الديناميك)			
حـــالة الانـــهيار		ـــــــ			

تم إجراء أغلب هذه الدراسات من قبل الدكتور كيميرو ميغورو (Kimiro Meguro) و الدكتور حاتم تاج الدين، في معهد العلوم الصناعية، جامعة طوكيو في اليابان.

نبين فيما يلي مجموعة من الأمثلة لكل مجال من المجالات المذكورة في الجدول (1.5.2)، و التي تم دراستها و تحليلها بطريقة AEM و تمت مقارنتها بالدراسات النظرية و التجريبية المعروفة سابقاً للتأكد من النتائج التي تعطيها الطريقة الجديدة.

1.5.2. المجال الستاتيكي بحمولة عادية : [10]

تأثير عدد نوابض الربط بين العناصر :

يعتبر عدد نقاط الاتصال التي تمثل نوابض الربط من أهم العوامل التي تؤثر على دقة النتائج، بشكل واضح تعتبر الزيادة في عدد النوابض عامل مساعد على زيادة الدقة، و لكن في المقابل تؤدي هذه الزيادة لصعوبة و زيادة في الزمن اللازم للتحليل، حيث يبين الجدول (2.5.2) التالي نسبة الخطأ المترافقة مع عدد النوابض الرابطة :

الجدول 2.5.2 : العلاقة بين عدد النوابض و نسبة الخطأ [10]

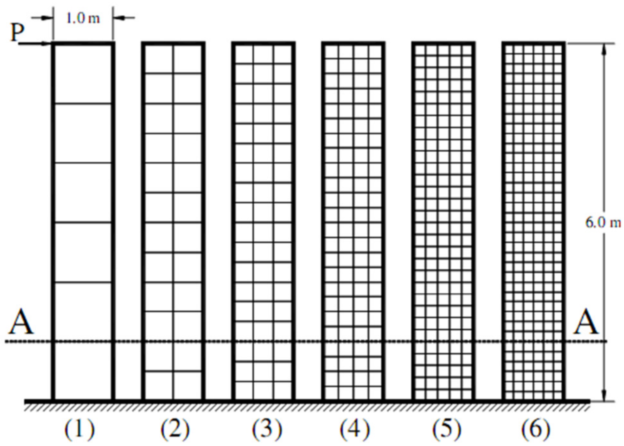
عدد النوابض	2	4	6	8	10	20
نسبة الخطأ %	25	6.3	2.8	1.6	1.0	0.3

يعتبر هذا التأثير كبيراً و مسيطراً في حالة أن العناصر التطبيقية ذات حجم كبير بالنسبة لحجم المنشأ الذي تمثله، و لكن عندما يصبح حجم العنصر صغير فإن هذا التأثير يصبح ثانوياً.

تأثير حجم العنصر

إن تحديد حجم العنصر التطبيقي الداخل في التحليل هو عملية مهمة جداً، حيث أن استخدام عناصر كبيرة الحجم يؤدي لزيادة في القساوة و الحمولة المسببة للانهيار مما يقلل من الانتقالات الناتجة، لذلك يجب اختيار الحجم المناسب للعناصر بحيث تعطي النتائج الأقرب للدقة.

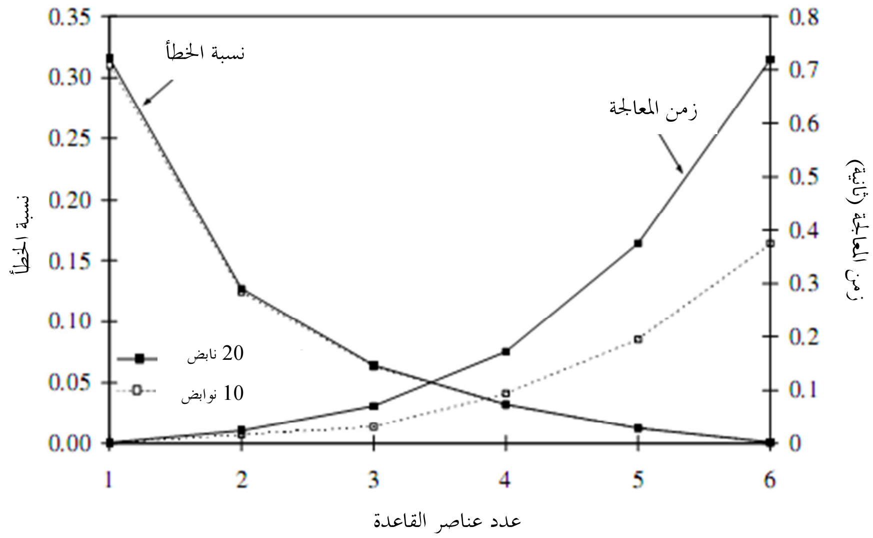
و لدراسة هذا التأثير تمت معالجة العمود الموضح في الشكل (1.5.2) و المعرض لحمولة أفقية P، و ذلك باستخدام عناصر ذات قياسات مختلفة، و حساب الإجهادات في المقطع A-A :



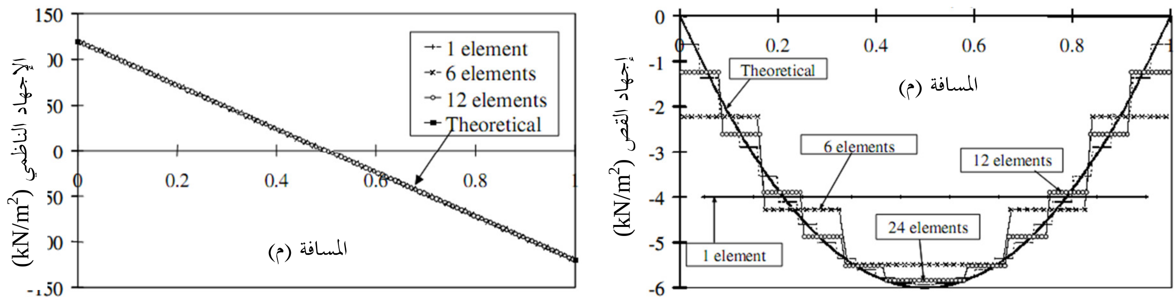
الشكل 1.5.2 : أبعاد و عدد العناصر، لدراسة تأثير حجم العنصر [10]

كذلك و لدراسة تأثير عدد النوابض تم الحساب على أساس استخدام 10 و 20 نابض اتصال بين كل عنصرين، حيث تبين الأشكال (2.5.2 و 3.5.2) نتيجة الدراسة بحسب المرجع [10].

يتضح من النتائج أن زيادة عدد العناصر يقلل من الخطأ في الحساب و يزيد الدقة و لكن في المقابل يؤدي ذلك لزيادة الوقت اللازم للحساب و التحليل، كذلك فإن زيادة عدد النوابض يؤدي لزيادة وقت الحساب و لكن بدون تأثير كبير على الدقة، مما يؤدي أن استخدام حجم عناصر صغير مع عدد قليل من النوابض هو الحالة الأفضل للنمذجة.



الشكل 2.5.2 : العلاقة بين عدد العناصر، نسبة الخطأ و وقت المعالجة [10]



الإجهاد الناظمي عند A-A

إجهاد القص عند A-A

الشكل 3.5.2 : تأثير عدد العناصر على الإجهادات [10]

تبين الأشكال السابقة علاقات الإجهادات الناظمية و القصية في قاعدة العامود، حيث يلاحظ ما يلي :

- قيم الإجهادات الناظمية متقاربة جداً مع الحساب النظري، حتى عند عناصر بحجم كبير.
- إجهادات القص ثابتة لنفس العنصر.
- تزداد دقة قيم إجهادات القص بشكل ملحوظ عند زيادة عدد العناصر و تصغير حجمها.

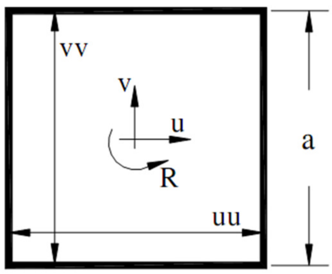
لذلك فإنه في الحالات التي تكون فيها قوى القص هي المسيطرة يجب استخدام عناصر بحجم صغير لتكون النتائج ذات دقة مقبولة، و ذلك كحالة الجوائز العميقة و الجدران الحاملة.

2.5.2. تأثير معامل بواسون : [10]

يعتبر معامل بواسون (معامل التشوه العرض) ذي تأثير كبير في كثير من حالات التحليل الإنشائي، كحالة التمدد العرضي لعمود خاضع لحمولة محورية حيث يلاحظ انتفاخ هذا العمود نتيجة وجود هذا المعامل في تمثيل المادة.

تم إدخال تقنية جديدة لمعالجة تأثير معامل بواسون أثناء الحساب بطريقة العناصر التطبيقية AEM. حيث يوجد طريقتين لإدخال معامل بواسون في الدراسة :

أ. **الطريقة الأولى**، تعتمد على إدخال درجتي حرية جديدتين، كما هو موضح بالشكل (4.5.2)، بالإضافة إلى درجات الحرية للجسم الحر بحيث يصبح لدينا 5 درجات من الحرية، 3 أساسيات (انتقاليين و دوران)، و 2 إضافيتان تمثلان التشوه النسبي بين الحواف الأفقية و الشاقولية، حيث أن هذه الدرجات (uu و vv) ترتبط بالتشوه الناتج عن تأثير معامل بواسون. فيتم إدخال هذا التأثير إلى مصفوفة القساوة المعرفة سابقاً.



الشكل 4.5.2 : درجات الحرية الزائدة لإدخال تأثير معامل بواسون [10]

رغم أن هذه الطريقة يمكن تطبيقها، و لكن تسبب العديد من الصعوبات و المشاكل أهمها :

1. ينتج عنها تداخل بين درجات الحرية الممثلة لحركة الجسم الصلب و الدرجات الممثلة للتشوه النسبي للحواف، مما يسبب صعوبات في حساب التشوهات و الإجهادات.
2. إن زيادة عدد درجات الحرية لتصبح 5 درجات، يزيد من عدد المجاهيل في مصفوفة القساوة مما يسبب زيادة كبيرة في الزمن اللازم للحساب يصل للضعف.

ب. **الطريقة الثانية**، المعتمدة في طريقة العناصر التطبيقية، لا تملك المشاكل السابقة يحث يتم إدخال معامل بواسون بنفس عدد درجات الحرية الأساسية، حيث يبقى العنصر التطبيقي صلد، ولكن مجموع العناصر مع بعضها هو الذي يتشوه، حيث يتم ربط مصفوفة القساوة لعنصر مع العناصر المؤثرة عليه و المحيطة به.

تعريفات :

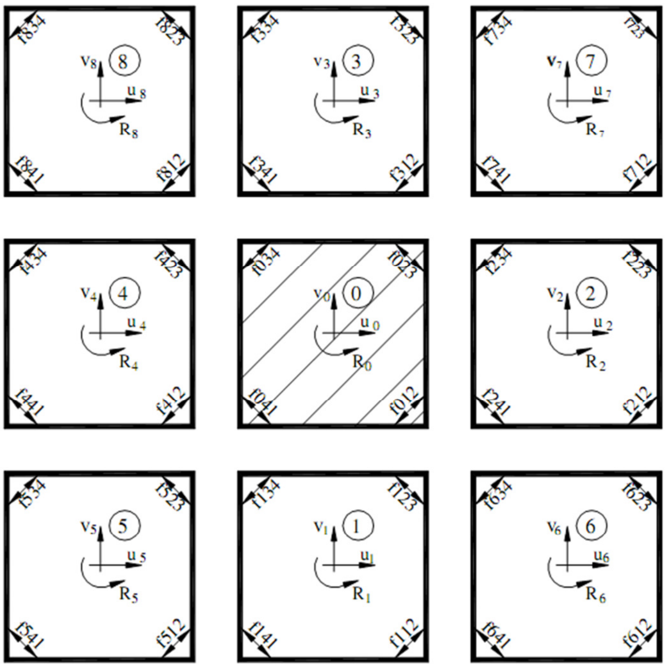
يبين الشكل (5.5.2) حالة عامة لتوزيع عناصر تطبيقية مرتبطة مع بعضها البعض بمجموعات من النوابض، حيث يملك كل عنصر 3 درجات حرية و 4 حواف مرقمة.

يمثل المعامل f المبين بالشكل و المعرف بالمعادلة $f_{ijk} = f_{ij} \times f_{ik}$ ترابط العناصر مع بعضها.

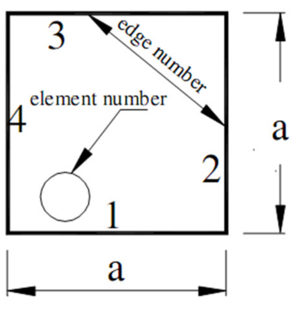
حيث أن : i رقم العنصر، j و k رقم الحواف

كما يعطى المعامل f_{ij} قيمة 1 عند وجود نوابض ربط للعنصر i على الحافة j (مثل f_{52})، و يعطى قيمة الصفر عند عدم وجود عنصر مرتبط مع i عند الحافة j أو إذا كانت النوابض عند هذه الحافة منهارة بسبب التشققات (مثل f_{51}).

هذا يعني أن المعامل f_{ijk} يساوي الواحد عند وجود اتصال للعنصر عند الحواف المحددة و إلا فهو مساوٍ للصفر. تستخدم هذه المعاملات لتطوير مصفوفة القساوة حيث تسمح بإدخال معامل بواسون.



الشكل 5.5.2 : ترتيب و ترقيم العناصر و الحواف في التقنية المستخدمة لإدخال معامل بواسون [10]

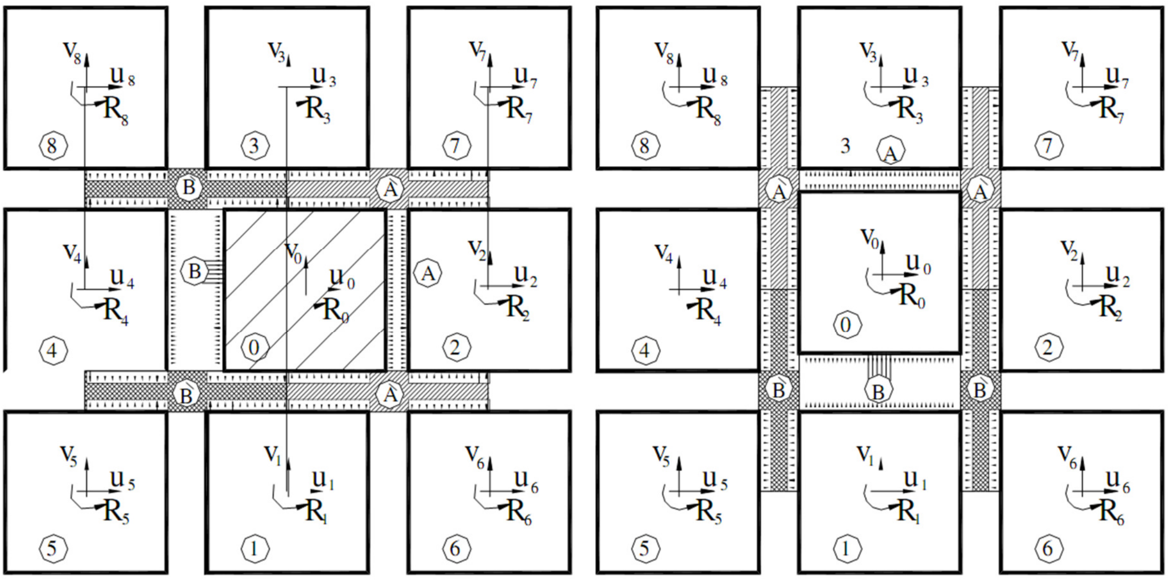


الشكل 6.5.2 : ترقيم حواف العنصر في التقنية المستخدمة لإدخال معامل بواسون [10]

مراحل الحساب العددي :

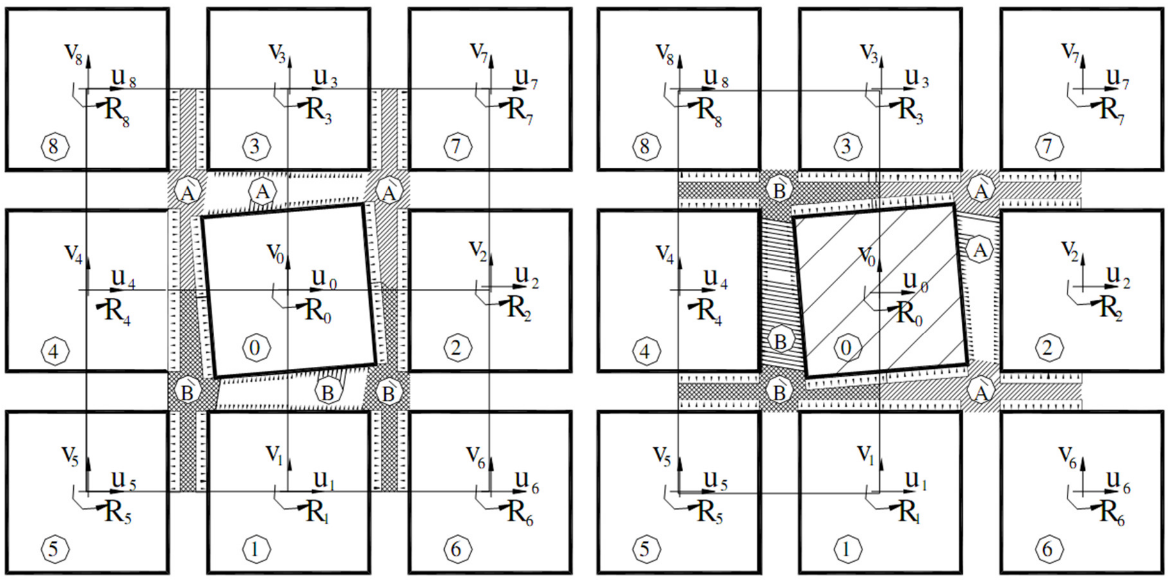
لإدخال تأثير معامل بواسون في مصفوفة القساوة الأصلية، فإنه يتم اعتبار انتقال موافق لكل درجة من درجات الحرية في نفس جهة هذه الدرجة، كما هو مبين في الشكل (7.5.2)، و يتم حساب الإجهادات الناتجة عن هذه التشوهات و تنقل لمركز العنصر التطبيقي و ذلك بشكل قوة و عزم مطبقة في المركز.

حيث يتم تطبيق الانتقال الموافق لدرجة الحرية مع تقييد الدرجات الأخرى للعنصر و جميع درجات الحرية للعناصر المحيطة.



(a) الإجهاد الثانوي الناتج عن الانتقال الشاقولي

(b) الإجهاد الثانوي الناتج عن الانتقال الأفقي



(c) تأثير الدوران للحواف الأفقية على الإجهاد في الحواف الشاقولية

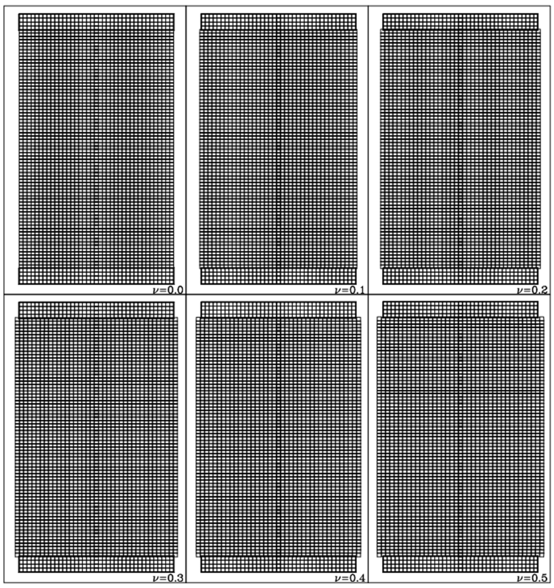
(d) تأثير الدوران للحواف الشاقولية على الإجهاد في الحواف الشاقولية

الشكل 7.5.2 : الإجهادات الداخلية الناتجة عن الانتقالات في التقنية المستخدمة لإدخال معامل بواسون [10]

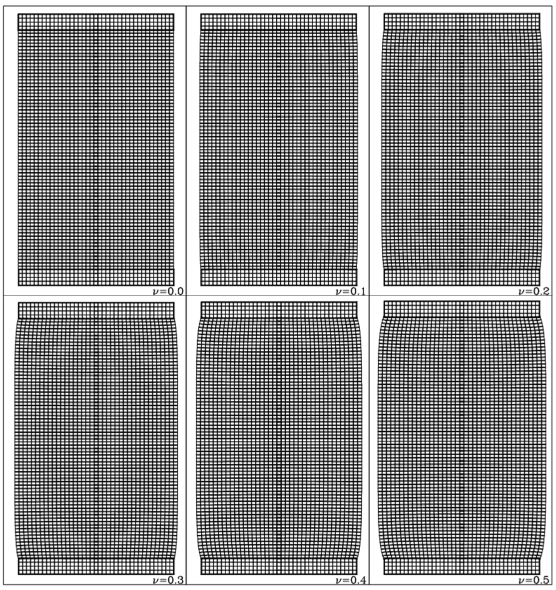
بشكل عام، فإن مركب التأثير المحسوب عن التشوهات، يضرب بمعامل الارتباط الموافق و الذي يمثل وجود أو عدم وجود ترابط و اتصال للعنصر مع بقية العناصر، فعندما يكون المعامل f مساوي للصفر فإن الإجهاد المحسوب يدخل في مصفوفة القساوة، و إلا فإن تأثير هذا الإجهاد يصبح مهملاً. فيتم تعديل مصفوفة القساوة العامة لإدخال هذه التأثيرات التي تمثل وجود معامل بواسون (Meguro and Tagel-Din, 2000).

تقييم التقنية المتبعة لإدخال ν :

لدراسة و تقييم الطريقة المعتمدة لإدخال تأثير معامل بواسون، تم إجراء الدراسة على عينة موشورية معرضة لضغط منتظم بحسب الشكل (8.5.2)، و ذلك بمثالين، الأول بدون اعتبار للاحتكاك بين العينة و الصفيحة الضاغطة، و الثانية مع اخذ هذا الاحتكاك بالحسبان، و تم إجراء الحساب بإدخال مجموعة قيم مختلفة لمعامل بواسون و استنتاج القيم الفعلية وذلك بشكل نظري و بالطريقة المعتمدة لإدخال تأثير المعامل في طريقة العناصر التطبيقية.



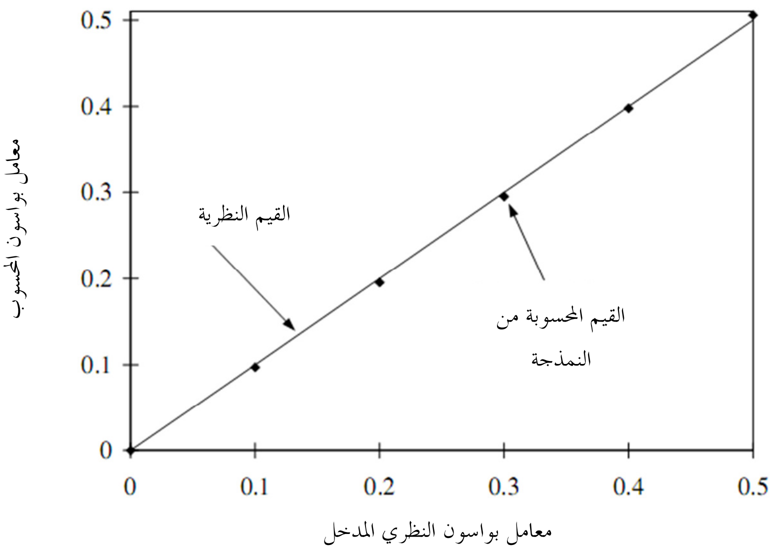
بدون تأثير الاحتكاك مع الصفيحة



بإدخال تأثير الاحتكاك مع الصفيحة

الشكل 8.5.2 : الشكل المشوه للعينة مع أخذ قيم مختلفة لمعامل بواسون [10]

يبين الشكل (9.5.2) مقارنة بين القيم النظرية لمعامل بواسون و القيم الناتجة عن إجراء التحليل بطريقة العناصر التطبيقية مع اعتماد تأثير ν و ذلك لقيم مختلفة تم إدخالها في الحسابات و استنتاج القيم النهائية من النماذج المبينة في الشكل (8.5.2).



الشكل 9.5.2 : مقارنة بين معامل بواسون النظري و القيمة المحسوبة بالـ AEM [10]

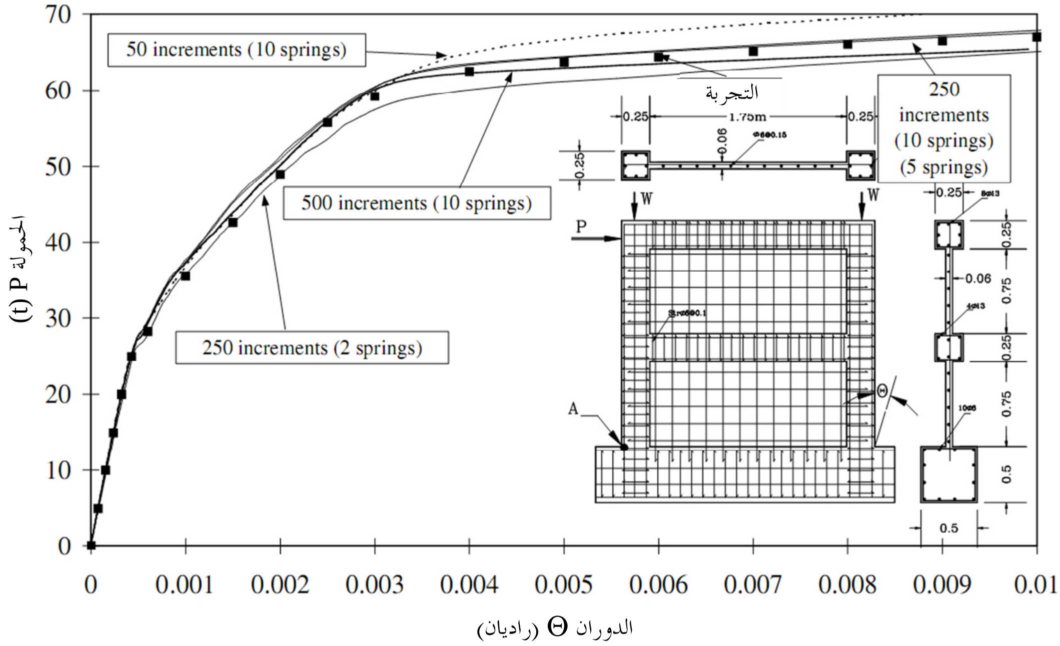
3.5.2. المجال الستاتيكي اللاخطي :

جدار بيتوني مسلح بطابقين [15]

يبين الشكل (10.5.2) منشأ مدروساً مبين عليه الأبعاد و الحمولات المطبقة، و هي عبارة عن حمولتين شاقوليتين W ثابتتين و حمولة أفقية P متغيرة، يتم حساب الدوران الناتج عند النقطة A التي تقع على القاعدة مع كل قيمة من قيم P ويتم رسم مخطط العلاقة بين الدوران Θ و القوة P.

تم إجراء التحليل باستخدام طريقة AEM و مقارنتها مع نتائج التجربة العملية. كما تم إجراء التحليل بعدد مختلف من نوابض الربط (2، 5 و 10 نوابض) و بتطبيق الحمولة الأفقية P بعدد مختلف من التزايدات (50، 250 و 500 تزايد (increment)) و ذلك لدراسة تأثير تطبيق الحمولة الستاتيكية بشكل متزايد على نتائج الحساب و كذلك تأثير عدد النوابض الرابطة بين العناصر التطبيقية.

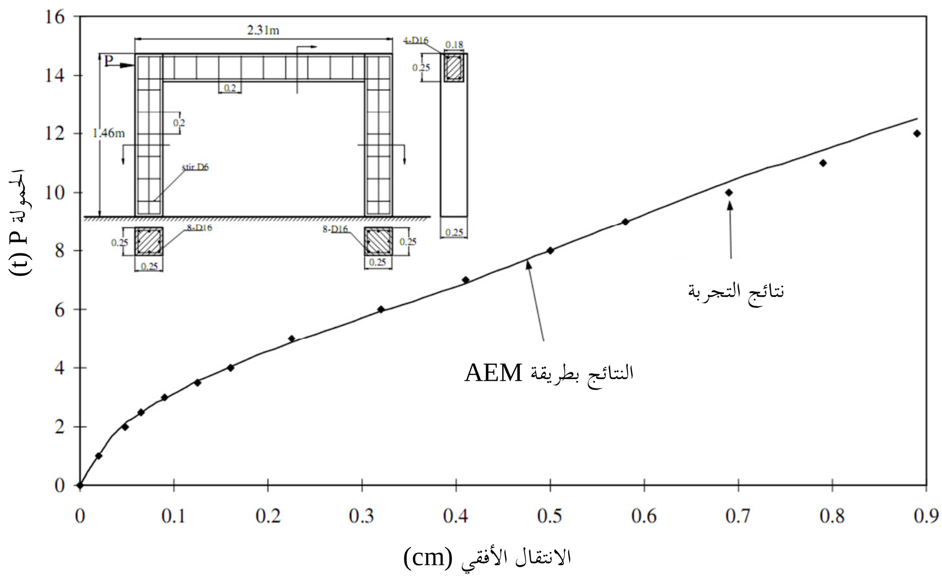
تظهر النتائج قدرة طريقة العناصر التطبيقية على نمذجة و تمثيل المنشآت ضمن المجال اللاخطي بدقة جيدة فالفروقات لا تزيد عن 5% عن التجربة الواقعية (لحالة 250 تزايد مع 5 أو 10 نوابض). كما تظهر النتائج الحاجة لتطبيق الحمولات الستاتيكية بعدد كبير نسبياً من التزايدات و التأثير المنخفض لعدد النوابض مع التزايدات الكثيرة.



الشكل 10.5.2 : العلاقة بين الحمولة الأفقية و دوران الجدار البيتوني المسلح في المجال الستاتيكي اللاخطي [15]

إطار بيتوني مسلح خاضع لقوة جانبية [15]

يبين الشكل (11.5.2) إطاراً مستخدماً في الدراسة موضح عليه الأبعاد و مقاطع الأعمدة و الجائز. تمت الدراسة باستخدام 10 نوابض ربط بين العناصر بطريقة AEM، يطبق عليه قوة أفقية P (200 تزايد). تمت مقارنة الانتقال الأفقي الناتج عن الحمولة P و المحسوب بطريقة AEM مع نتائج التجريبية الواقعية، و أظهرت النتائج تقارب جيد بينهما مما يدل على قدرة طريقة العناصر التطبيقية على تمثيل المشآت في المجال الستاتيكي اللاخطي.

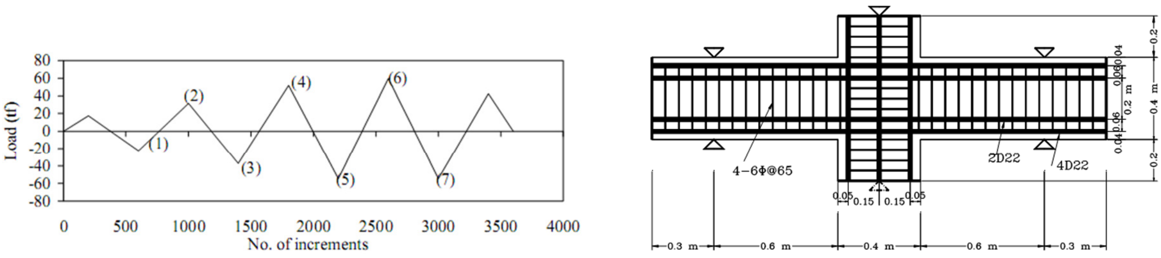


الشكل 11.5.2 : علاقة الانتقال بالحمولة الأفقية لإطار بيتوني مسلح خاضع لقوة جانبية [15]

4.5.2. المجال الستاتيكي بحمولات دورية : [12]

يبين الشكل (12.5.2.أ) جائز ظرفي مزدوج (Double Cantilever)، موضح عليه التسليح و الأبعاد المستخدمة في الدراسة، يطبق حمولة دورية على الأظفار و بحسب التزايدات الموضحة في الشكل (12.5.2.ب)، حيث يطبق هذا الحمل في طرف الظفر بشكل متتالي من الأعلى و الأسفل. يتم تحليل هذا الجائز باستخدام طريقة العناصر التطبيقية و يقارن مخطط الانتقال–الحمولة الناتج عن النمذجة بتجربة واقعية. يوضح الشكل (13.5.2) نتائج هذه المقارنة مع ملاحظة التوافق المقبول بين نتائج التجربة و نتائج النمذجة.

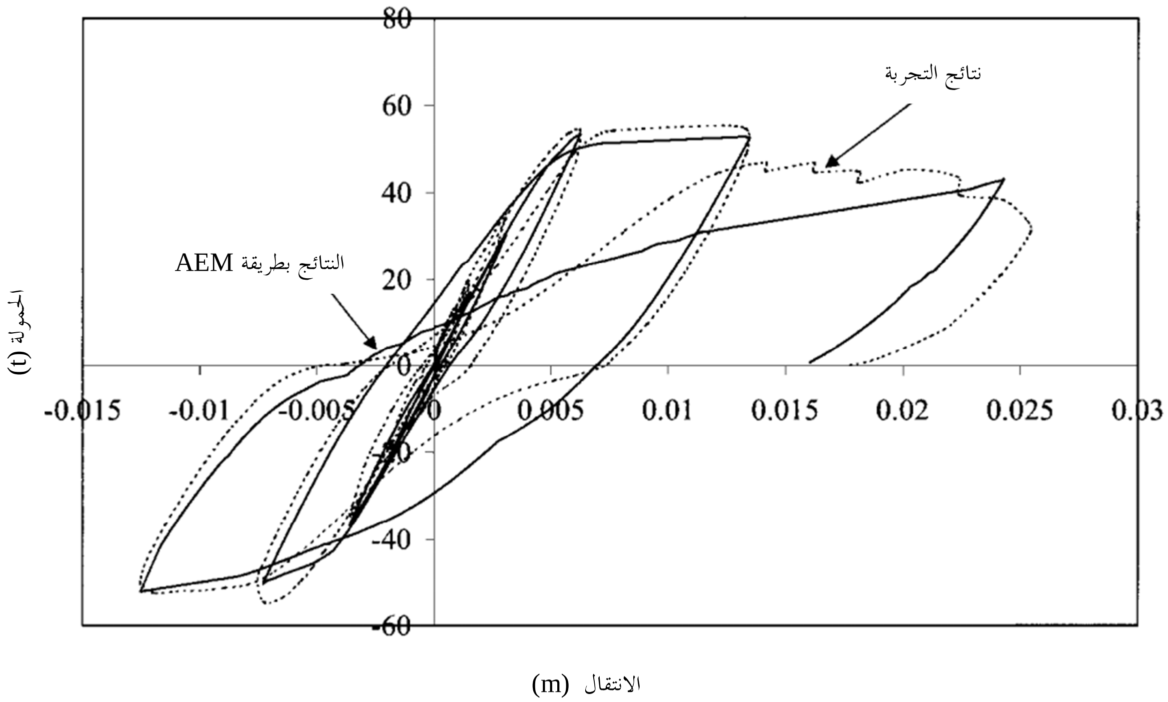
كذلك يظهر الشكل (14.5.2) الشكل المشوه و موقع التشققات الناتجة للنموذج بطريقة AEM و التجربة.



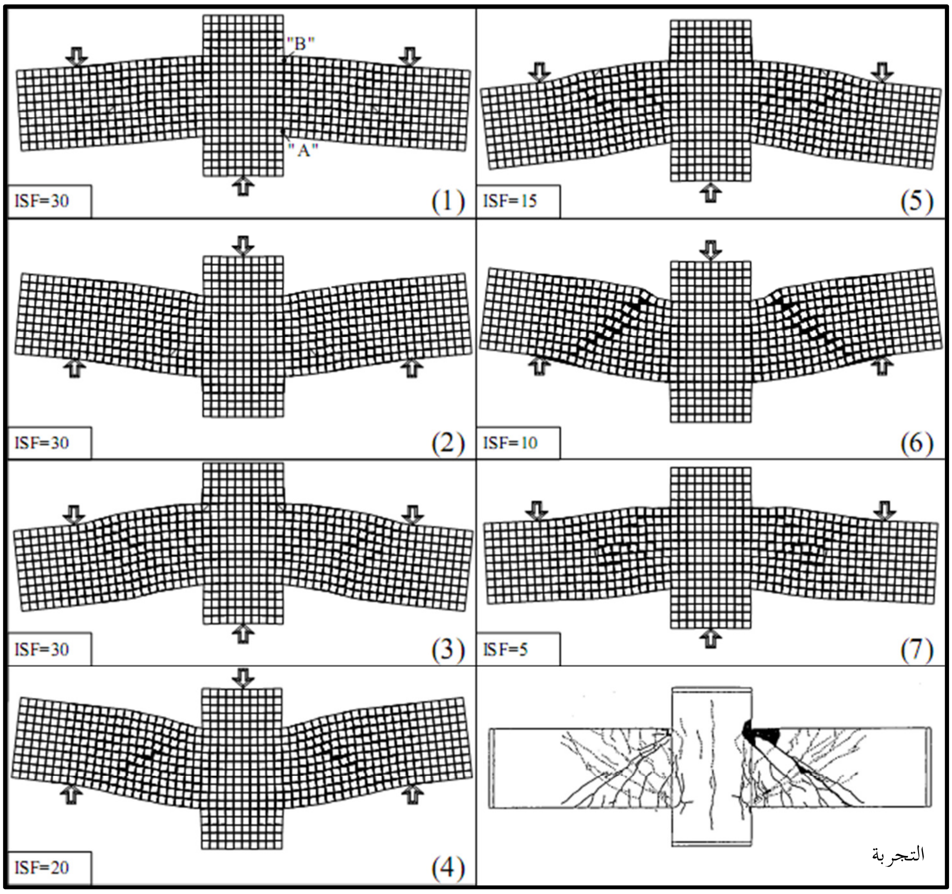
ب. الحمولة الدورية المطبقة

أ. أبعاد وتسليح الظفر المضاعف

الشكل 12.5.2 : أبعاد وتسليح الظفر المضاعف و الحمولة المطبقة في المجال الستاتيكي بحمولات دورية [12]



الشكل 13.5.2 : علاقة الانتقال بالحمولة و المقارنة بالنتائج المخبرية للظفر المضاعف في المجال الستاتيكي بحمولات دورية [12]



الشكل 14.5.2 : الشكل المشوه و نمط التشقق الناتج عن نمذجة الظفر المضاعف [12]

5.5.2. المجال الستاتيكي بانتقالات كبيرة :

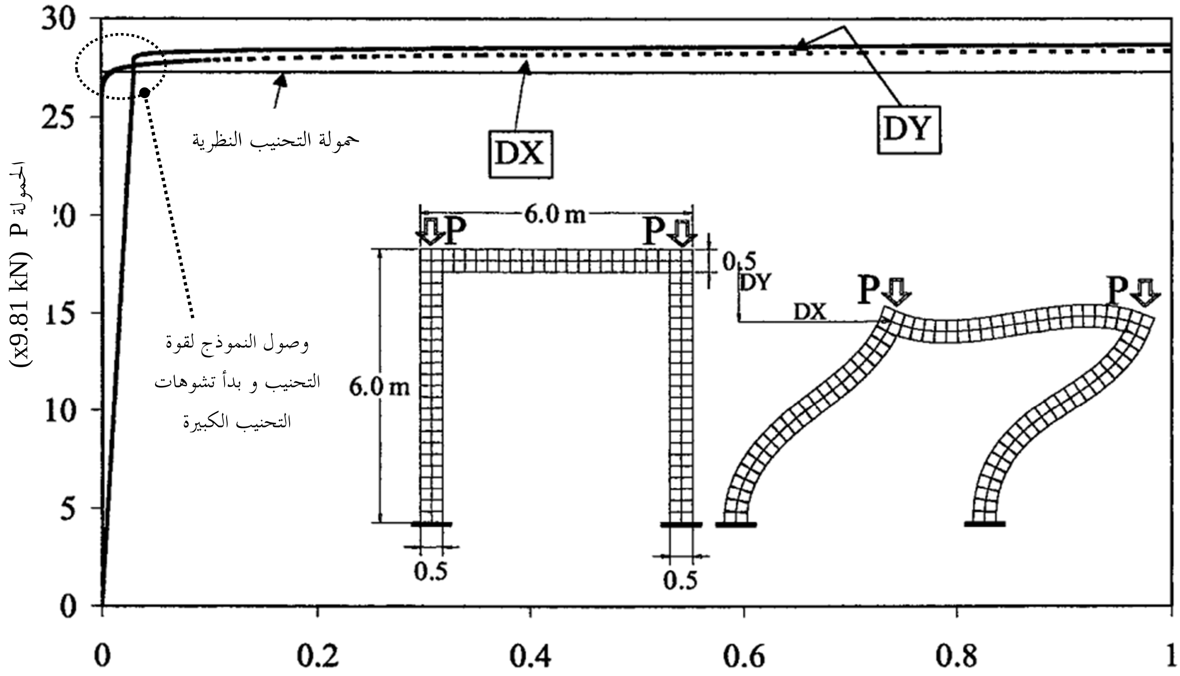
أجريت الدراسات الخاصة في هذا المجال بإدخال تأثيرات الانتقالات الكبيرة كتأثير P-Δ و حركة الأجسام الصلبة الحرة و تصادم العناصر عند الإنهيار و في ما يلي أحد الأمثلة المأخوذة من (Meguro and Tagel-Din, 2002).

إطار بيتوني بشروط استناد مختلفة [13]

حيث تبين الأشكال التالية إطار بيتوني يخضع لحمولات شاقولية P عند العقد و له ثلاث حالات :

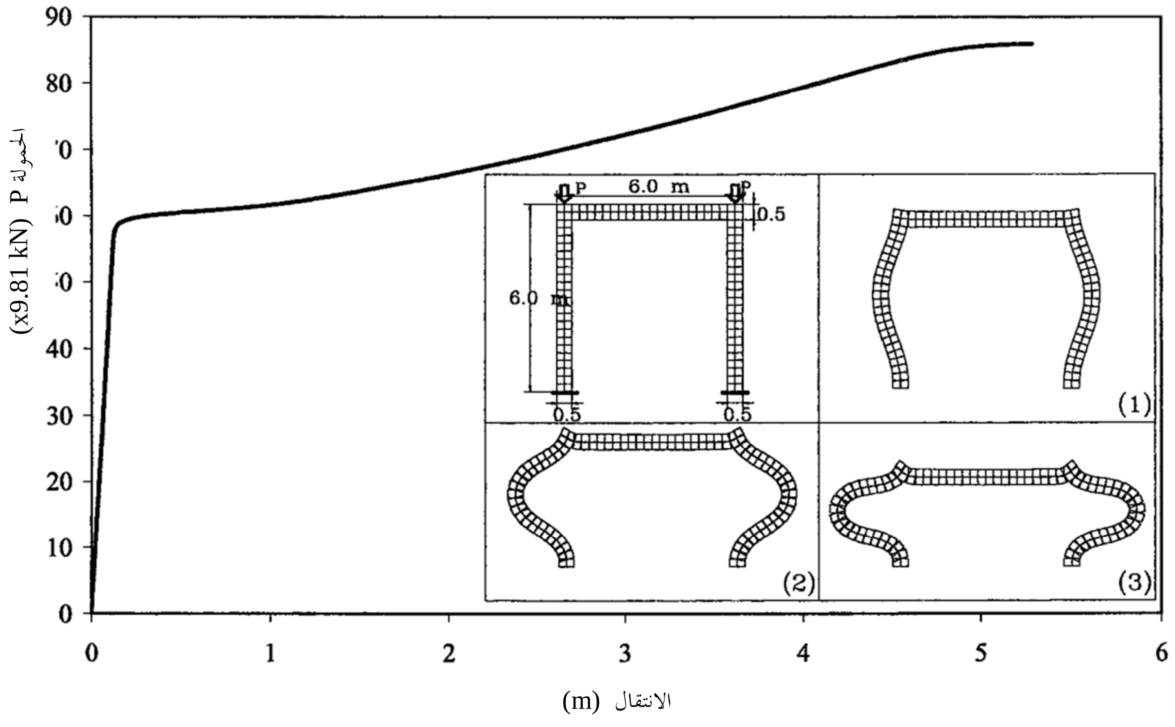
1. إطار مقاوم للعزوم بمسند ثابت (15.5.2).
2. إطار عادي بمسند ثابت (16.5.2).
3. إطار مقاوم للعزوم بمسند مفصلي (17.5.2).

تم رسم علاقة الانتقال-الحمولة لكل حالة و مقارنة قيمة الحمولة الناتجة عن النمذجة بطريقة العناصر التطبيقية و التي يبدأ التحنيب عندها و مقارنتها بالقيمة النظرية، حيث أظهرت النتائج تقارب مقبول لتلك القيم.



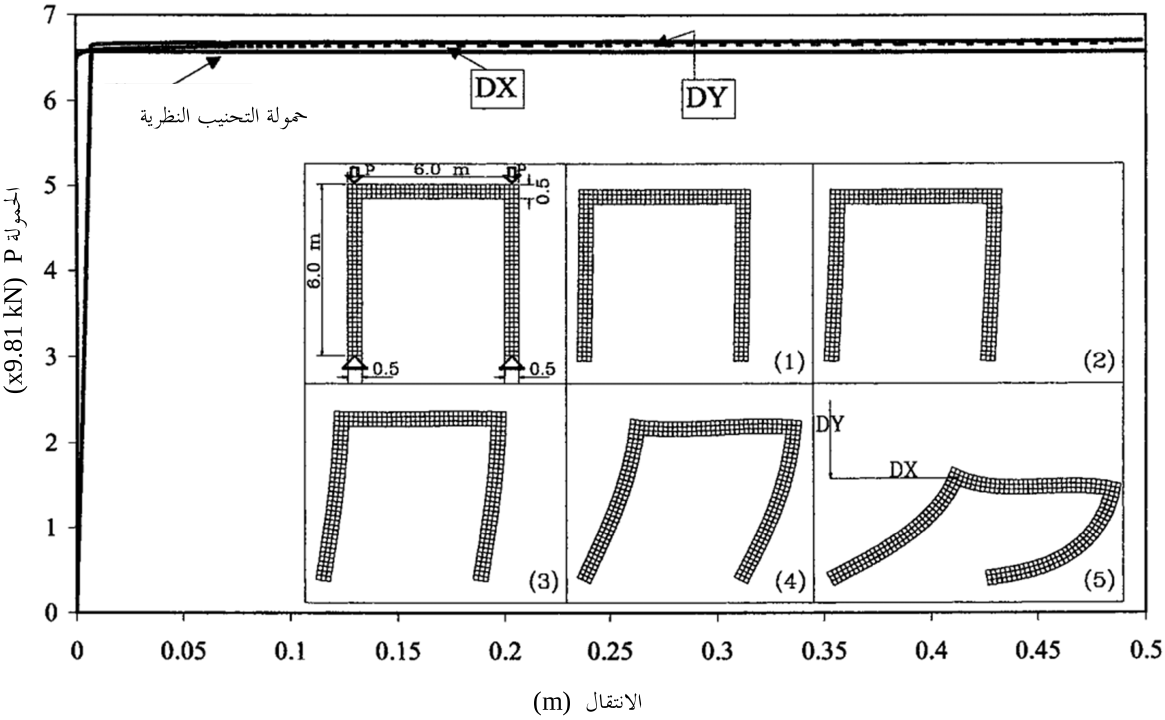
الانتقال (m)

الشكل 15.5.2 : انتقالات إطار مقاوم مع مسند ثابت في المجال الستاتيكي بانتقالات كبيرة [13]



الانتقال (m)

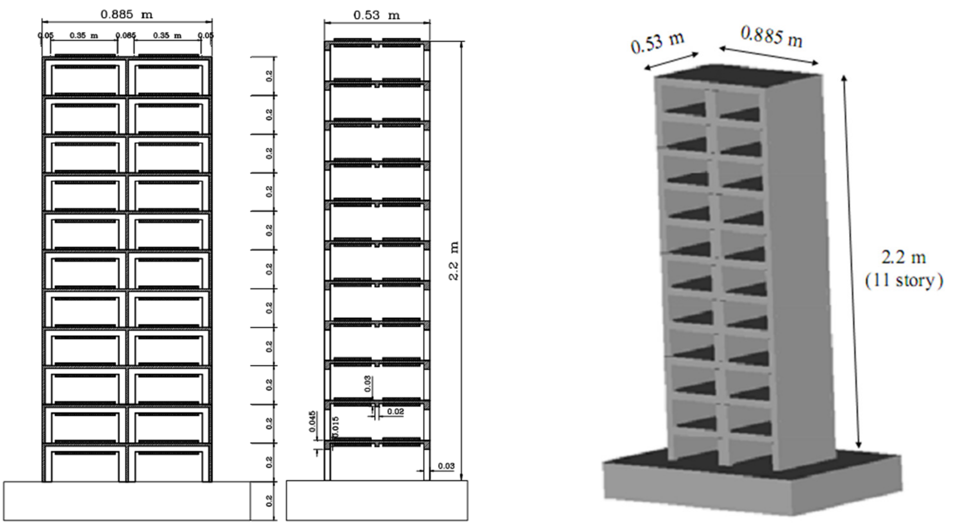
الشكل 16.5.2 : انتقالات إطار عادي بمسند ثابت في المجال الستاتيكي بانتقالات كبيرة [13]



الشكل 17.5.2 : انتقالات إطار مقاوم بمسند مفصلي في المجال الستاتيكي بانتقالات كبيرة [13]

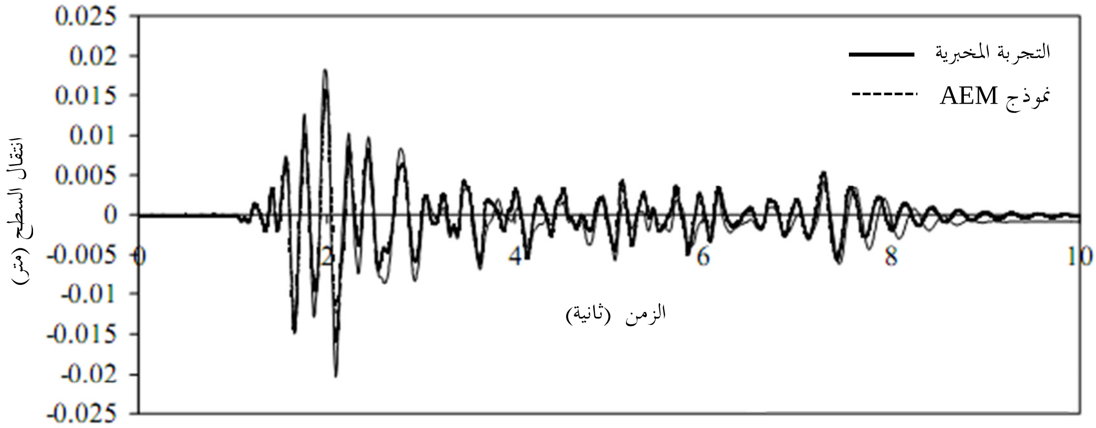
6.5.2. المجال الديناميكي : [16] [17]

لدراسة جميع المجالات الديناميكة بالحمولات الدورية و انتقالات الكبيرة، فقد أجريت دراسة مخبرية تحليلية لنموذج مبنى مصغر (مقياس 15/1) خاضع لحمولات قص قاعدية ناتجة عن طاولة الاهتزاز، يبين الشكل (18.5.2) أبعاد و مقاطع النموذج المخبري.



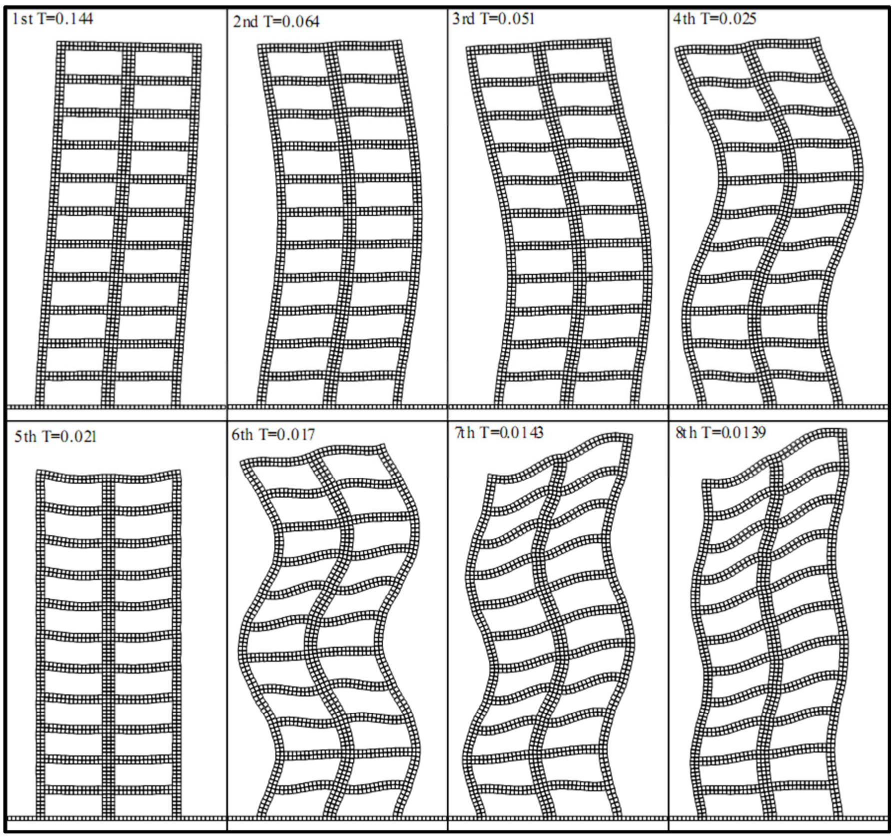
الشكل 18.5.2 : النموذج المختبر بواسطة طاولة الاهتزاز للمجال الديناميكي [11]

يظهر الشكل (19.5.2) استجابة السطح للحمولة الاهتزازية، و يظهر التوافق بين النموذج المخبري على طاولة الاهتزاز و بين النموذج التحليلي بطريقة العناصر التطبيقية.

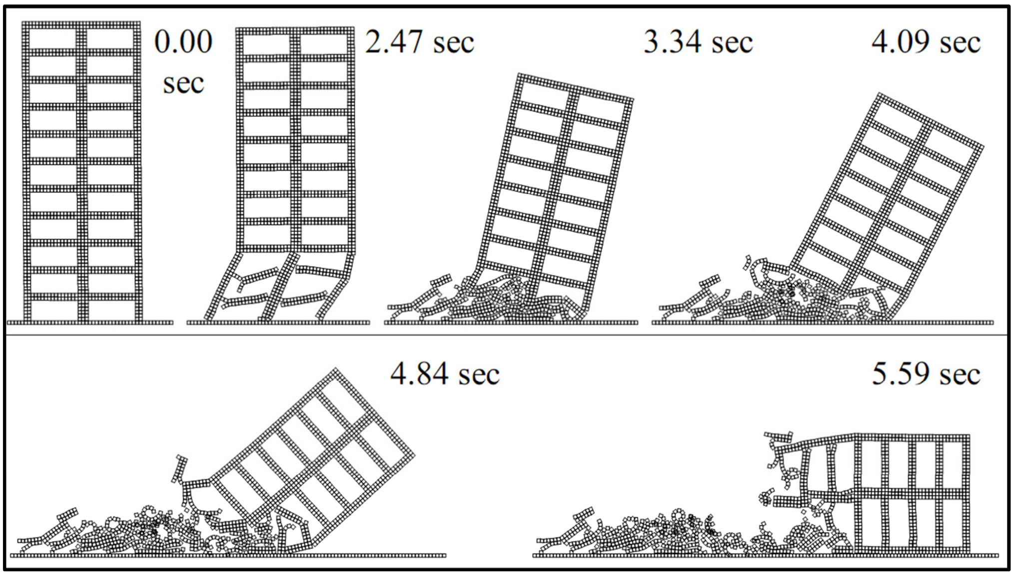


الشكل 19.5.2 : استجابة سطح النموذج المختبر (مقارنة بين التجربة و التحليل) [11]

كما يظهر الشكل (20.5.2) انماط الاهتزاز للمبنى محسوبة بطريقة AEM و يظهر على الشكل دور كل نمط منها، كذلك يوضح الشكل (21.5.2) مراحل و شكل الانهيار الناتجة عن الحمولة الاهتزازية القصوى المطبقة.



الشكل 20.5.2 : أنماط اهتزاز النموذج المختبر و الناتجة عن التحليل بطريقة AEM [11]



الشكل 21.5.2 : شكل الانهيار الناتج بالتحليل بطريقة العناصر التطبيقية AEM [11]

6.2. نتائج دراسات التقييم : [11]

يتضح من الدراسة السابقة و الأمثلة الموجودة في المراجع المحددة، أن طريقة العناصر التطبيقية ذات وثوقية عالية في الحسابات الإنشائية و ذلك لكامل الطيف المعروف من أشكال الحمولات و طرق التحميل، حيث أنها أعطت نتائج مقاربة للاختبارات العملية و لطريقة العناصر المحددة، و نتائج أكثر دقة من طرائق العناصر المتمايزة (DEM) و بطريقة نمذجة أسهل، و فيما يلي أهم النتائج للتقييم :

1. تعتبر النمذجة بطريقة AEM أسهل و أدق من الطرق الآخرى.
2. يمكن تمثيل الفولاذ و البيتون بشكل منفصل و بدون تغير ترتيبات العناصر التطبيقية و أشكالها. و يمكن إدخال مواصفات الفولاذ بشكل منفصل عن البيتون مما يسهل عملية تشكل و تتبع التشققات.
3. يمكن الحصول على الإجهادات الداخلية في أي نقطة من المادة بشكل سهل و لكل من البيتون و الفولاذ.
4. لا يؤثر الشكل المربع أو المكعب للعناصر التطبيقية في تشكل و انتشار التشققات بعكس طرائق DEM.
5. يمكن استخدام الطريقة في مجال واسع من التطبيقات الهندسية، و حالات التحليل المختلفة وصولاً للتحليل الديناميكي اللاخطي و بدقة عالية.
6. يمكن دراسة حالة الجسم الحر و دراسة التصادم بين العناصر بالطريقة الجديدة، و بدون الحاجة لمعرفة مسبقة عن تسلسل التصادم، مما ساعد على دراسة و متابعة الانهيار الكامل لأي منشأ.

الفصل الثالث

برنامج ®ELS المستخدم في التحليل

و متطلبات النمذجة

يعتمد برنامج Extreme Loading® for Structures (ELS) على طريقة التحليل الإنشائي الجديدة، طريقة العناصر التطبيقية (AEM)، حيث تم تصميم هذا البرنامج من قبل مؤسسة ASI [4]، و سوف نعتمد في التحليل و الدراسة على النسخة "2.3 B204".

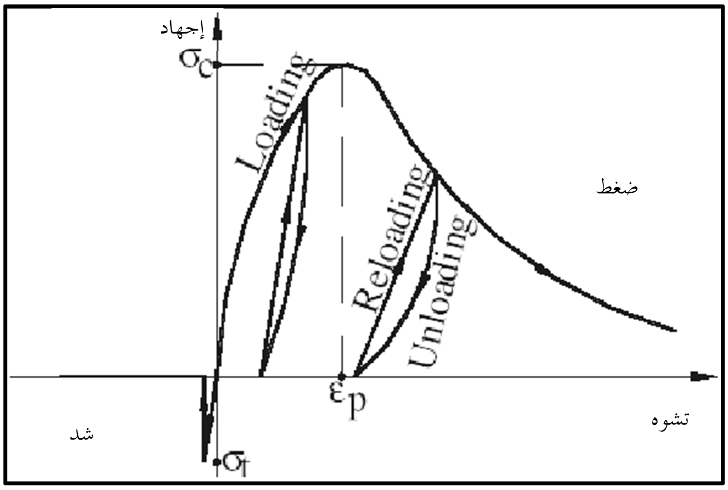
يستطيع هذا البرنامج إجراء التحليل الديناميكي اللاخطي على المنشآت كما يستطيع تمثيل كامل تفاصيل المواد و شروط الانهيار كما سيتم شرحه لاحقاً.

1.3. نماذج المواد و براميترات برنامج ®ELS :

يستطيع برنامج ®ELS التعامل مع أنواع مختلفة من المواد التي تتطلبها النمذجة، كالبيتون المسلح و الفولاذ و الآجر و الطينة و الألمنيوم و الزجاج و أنواع أخرى يمكن تحديدها من قبل المستخدم. و سيتم شرح البيتون المسلح لأنه المادة المستخدمة في الدراسة بشكل أساسي.

بما أن ®ELS يعتمد بشكل كامل على طريقة العناصر التطبيقية فإنه يستفيد من كامل خصائصها و صفاتها التي تميزها عن غيرها من طرق التحليل الإنشائي، حيث تسمح هذه الطريقة بنمذجة المواد الداخلة في الحساب بشكل منفصل، ففي حالة البيتون المسلح يمكن تمثيل البيتون بشكل منفصل عن فولاذ التسليح و ذلك بإعطاء مواصفات خاصة لكل من النوابض التي تمثل المادة المقابلة.

1.1.3. البيتون : [4] تم اعتماد نموذج Maekawa الموضح في الشكل (1.1.3) لتمثيل البيتون، حيث يتضمن هذا النموذج معامل يونغ الأولي و معامل احتكاك داخلي و قيمة للتشوه اللدن في حالة الضغط و ذلك لتشكيل مخطط التشوه–الإجهاد المبين.

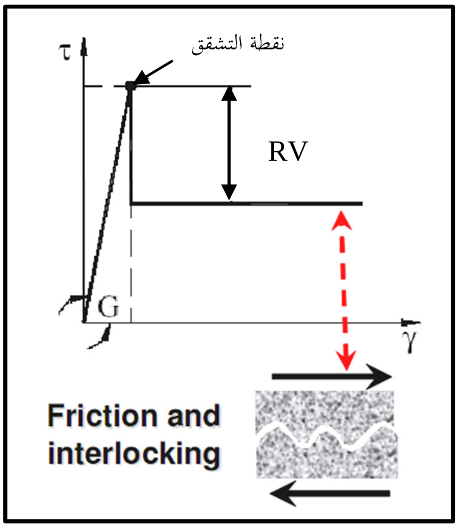


الشكل 1.1.3 : نموذج البيتون المعتمد في برنامج ELS [4]

يفيد هذا التمثيل في تطبيق الحمولات و إزالتها بدون تشكيل صعوبة في النمذجة.

بعد ذروة الإجهاد، يُعطي النابض المعرض للضغط قيمة أصغرية لتفادي القيم السالبة، مما يسبب فرق بين الإجهاد المحسوب و الإجهاد المعطى للنابض نتيجة قيمة القساوة المفروضة، فيتم إعادة توزيع الفرق بالإجهاد و ذلك بتطبيق قوة مكافئة و معاكسة خلال مرحلة التحميل اللاحقة. أما النوابض المعرضة للشد، فإن قيمة القساوة تتبع القيمة الأولية حتى مرحلة الانهيار، حيث يأخذ القيمة صفر.

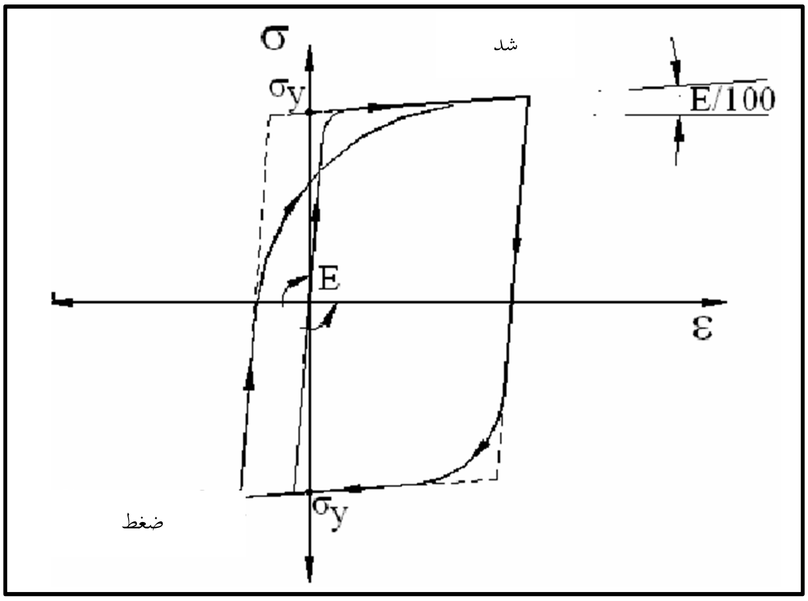
أما بالنسبة للقص، فإن العلاقة بين الإجهاد و التشوه تبقى خطية حتى الوصول لحالة التشقق، حيث تأخذ قيمة ثابتة RV نتيجة تأثير الاحتكاك و أثر القفل (interlock) الموضح بالشكل (2.1.3).



الشكل 2.1.3 : نموذج البيتون نتيجة إجهاد القص [4]

2.1.3. فولاذ التسليح : [4]

يُعتمد النموذج الموضح في الشكل (3.1.3) لتمثيل الفولاذ، حيث يتم حساب قساوة النابض الممثل للفولاذ بأخذ تأثير التشوه و حالة التحميل و تاريخ التحميل الذي يعتمد على تأثير باوشينغير (Bauschinger)، حيث أن هذا النموذج يمنح القدرة على اعتبار حالات التحميل الجزئي و إدخال تأثير باوشينغر بدون زيادة كبيرة في تعقيد النموذج.



الشكل 3.1.3 : نموذج فولاذ التسليح المعتمد في برنامج ELS [4]

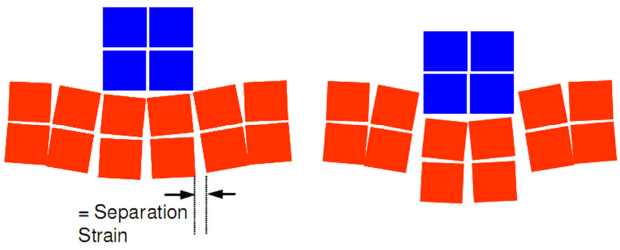
كذلك بالنسبة للنوابض الممثلة لفولاذ التسليح، فإن حالة الانهيار و شرطه يعتمد بشكل أساسي على حالتين، عند تحقق إحداهما يحدث الانهيار و انقطاع النابض المقابل للقضيب :

1. وصول قضيب التسليح لحد الانقطاع.
2. وصول مجموع النوابض الممثلة للبيتون على السطح المقابل للتشوه النسبي للانفصال، و هو معامل يتم إدخاله في البرنامج من قبل المستخدم. و تعتبر هذه الحالة أحد عيوب البرنامج.

3.1.3. معامل التشوه النسبي للانفصال (Separation Strain) : [4]

إن التشوه النسبي للانفصال هو التشوه الذي يحدد انفصال العناصر المتقابلة عن بعضها البعض بشكل كامل، فعند تباعد العنصرين بقيمة هذا التشوه يعتبرهما البرنامج عنصرين مختلفين تماماً و عند اتصالهما مرة أخرى يشكل بينهما نوابض اتصال، يأخذ قيم بين 0.1 و 0.2.

يدخل تأثيره في البيتون المسلح فقط، فيقوم البرنامج بقطع كامل النوابض الموجودة (في حال وجودها) على سطح الاتصال، بما فيها النوابض الممثلة لفولاذ التسليح، عند وصول التشوه لقيمة التشوه النسبي للانفصال.



الشكل 4.1.3 : التشوه النسبي للانفصال (Separation Strain) [4]

و لا يؤثر هذا المعامل على باقي المواد، ففي حالة الفولاذ فإن الانقطاع يحدث عند وصول الإجهاد للإجهاد الأعظمي فقط.

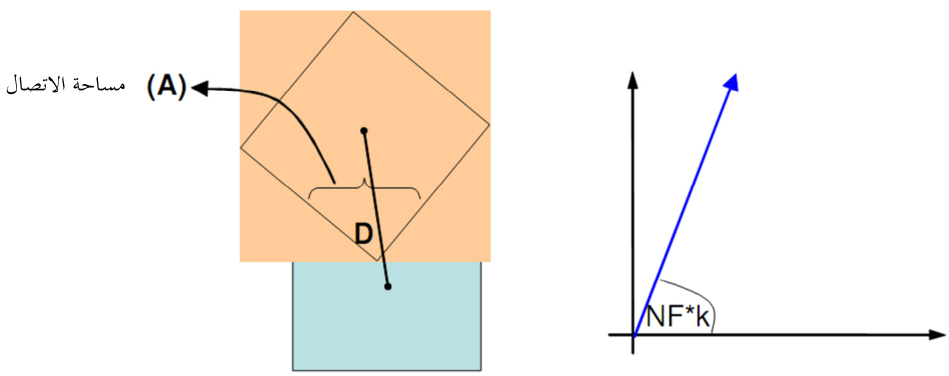
4.1.3. معاملات الاتصال : [4]

عند حدوث اتصال بين عنصرين تطبيقين، تتشكل بينهما نوابض اتصال جديدة تمثل حالة انتقال الطاقة بين هذين العنصرين. حيث تُحدد مواصفات هذه النوابض بالمعاملات التالية :

معامل قساوة الاتصال الناظمي

Normal Contact Stiffness Factor (NF)

يمثل هذا المعامل قساوة نابض الاتصال الناظمي المتشكل بسبب تلاقي العنصرين مع بعضهما :



الشكل 5.1.3 : معامل قساوة الاتصال الناظمي [4]

يتم حساب القساوة الجديدة (k_1) بالشكل التالي :

$$k_1 = E * A/D \quad : A = NF * D^2 \quad \rightarrow \quad k_1 = E * NF * D \qquad (1.3)$$

حيث أن :

E معامل يونغ الأصغري للعنصرين، A متوسط مساحة الاتصال بين العنصرين،

D المسافة المركزية بين العنصرين

معامل قساوة الاتصال القصي

Shear Contact Stiffness Factor (SF)

يمثل هذا المعامل قساوة نابض الاتصال القصي المتشكل بسبب تلاقي العنصرين مع بعضهما.

تتأثر القساوة القصية الجديدة (k_2) بشكل كبير بمعامل الاحتكاك، فعندما تكون قوة القص أصغر من جداء القوة الناظمية بمعامل الاحتكاك فإن القساوة الجديدة تأخذ بحسب (الرموز تأخذ من الشكل (5.1.3) و المعادلة (1.3)):

$$k_2 = G * SF * D \qquad (2.3)$$

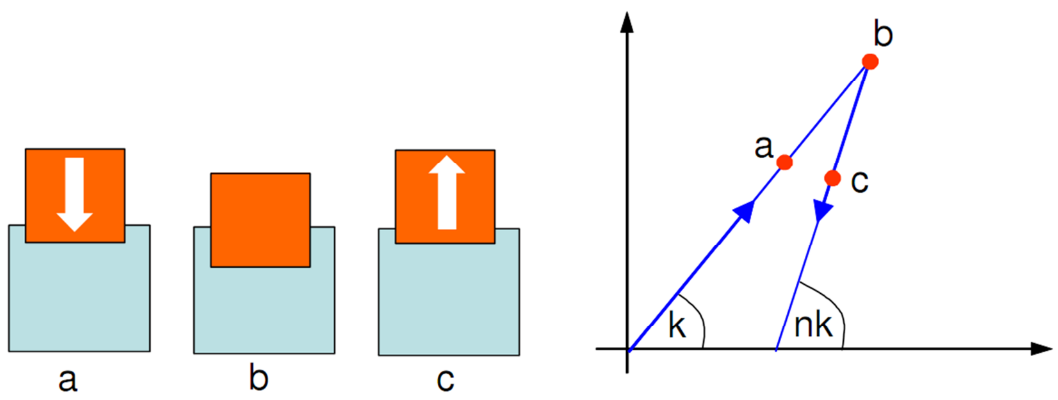
و إلا فإنها تعتبر صغيرة جداً أي : $k_2 = G * SF * D/1000$

حيث يعتبر العنصرين كما لو أنهما يترلقان على بعضهما البعض.

معامل الطاقة الضائعة

Contact Spring Unloading Stiffness Factor (n)

يحدد هذا المعامل مقدار الطاقة الضائعة أثناء تصادم عنصرين مع بعضهما البعض، فمقلوب القيمة التي يأخذها هذا المعامل تساوي نسبة الطاقة المتبقية بعد حدوث التصادم، كما يوضحه الشكل (6.1.3) :



الشكل 6.1.3 : معامل الطاقة الضائعة (Contact Spring Unloading Stiffness Factor (n)) [4]

تأخذ المعاملات السابقة قيم أولية مدخلة للبرنامج يبينها الجدول (1.1.3)، و لكن لا بد من إجراء المزيد من البحث و الدراسة لتحديد هذه المعاملات بشكل أدق بحيث تعطي تمثيلاً واقعياً لحالات الانهيار المطلوب دراستها.

الجدول 1.1.3 : القيم الأولية لمعاملات الاتصال [4]

المعامل	القيمة
NF	0.01
SF	0.001
n	10

2.3. ميزات النمذجة ببرنامج ®ELS : [5]

يمتلك هذا البرنامج العديد من المواصفات التي تسمح باستخدامه في النمذجة و التحليل لتحقيق متطلبات البحث، فبالإضافة لاعتماده الكامل على طريقة العناصر التطبيقية AEM و خضوعه لكافة معايير هذه الطريقة فإنه يمتاز بما يلي :

1.2.3. تشكيل النموذج :

يستطيع المستخدم للبرنامج إدخال النموذج بشكل سهل و بكافة التفاصيل اللازمة للتحليل المطلوب، كذلك فإن عملية التقسيم (Meshing) تتم بشكل مباشر و بدون حدوث تعقيدات ناتجة عن اختلاف العناصر الإنشائية بين بعضها بالحجوم و المقاسات، حيث يتم تحديد حجم العنصر التطبيقي المطلوب لكل عنصر إنشائي، و بما أن البرنامج يعتمد على الخاصية المهمة الموجودة في طريقة AEM التي لا تتطلب وجود عناصر انتقالية بين العناصر المختلفة، حيث أن الاتصال يتم بين الأوجه المتقابلة لكل عنصر مما يقلل من الصعوبة الناتجة في النمذجة و الأخطاء المتشكلة عن عدم حدوث الاتصال المناسب بين العناصر.

2.2.3. التقاطع بين العناصر :

عند إجراء النمذجة، و في أغلب البرامج المختصة، يحدث تقاطع بين العناصر الإنشائية في النموذج مما يسبب أخطاء في الحساب نتيجة زيادة الوزن مثلاً أو اعتماد الأبعاد المحورية للعناصر (كحالة الجائز و العمود و البلاطة حيث تتقاطع هذه العناصر في العقدة و تدخل كلها في الحساب)، لذلك فإن برنامج ®ELS يسمح بتحديد العنصر الأساسي الموجود عند التقاطع، فيتم حذف العناصر التطبيقية الممثلة للعناصر الإنشائية الأخرى و لكن يتم الإبقاء على فولاذ التسليح الممثل بالنوابض الخاصة به للسماح باستمرارية التسليح.

3.2.3. حالات التحميل :

يمنح البرنامج القدرة على تطبيق كامل أنواع الحمولات المعروفة و بكل أشكالها، سواء كانت ستاتيكية أو ديناميكية، حيث يمكن تطبيق الحمولات الشاقولية العادية و انتقالات المساند و الحمولات الحرارية، كذلك في الطور الديناميكي فإنه

يمكن تطبيق الحمولات الزلزالية و الانفجارية و الحمولات المتحركة و إزالة العناصر التي سيتم استخدامها بشكل أساسي في هذا البحث.

كذلك يسمح البرنامج بتطبيق الحمولات على مراحل و بخطوات زمنية معينة، حيث أنه في حالات دراسة الانهيار (كحالة البحث) فإن تطبيق مرحلتي تحميل يعتبر مناسباً. ففي المرحلة الأولى يتم تطبيق حمولات الوزن الذاتي الستاتيكية على المنشأ ثم في المرحلة التالية يتم تطبيق الحمولة الديناميكية (إزالة العناصر)، و ذلك بتحديد الخطوات الزمنية و تقسيماتها للوصول لحالة الانهيار الكامل.

4.2.3. إزالة العناصر :

يسمح البرنامج بتحديد عنصر أو مجموعة من العناصر التي يجب إزالتها و وقت هذه الإزالة، حيث تعتبر هذه الميزة مفيدة في حال تمت معرفة العناصر التي ستنهار أو في حالات التصميم على الانهيار المتتابع.

فيمكن تحديد مجموعات من العناصر التي ستزال و تحديد الوقت الواجب إزالتها فيه خلال مرحلة التحليل الديناميكي، فيتم إزالة كافة المكونات للعنصر المحدد بما فيها فولاذ التسليح الممتد داخل هذا العنصر. لذلك يمكن الاستفادة من هذه الميزة في حالات الانفجار، بحيث يختصر الوقت اللازم لحساب الإجهاد الناتجة عن الانفجار و المطبقة على العنصر و الوقت اللازم لها، و لكن يجب أن تكون العناصر المنهارة معروفة مسبقاً من قبل الدارس.

5.2.3. نتائج التحليل :

يستطيع برنامج ELS® إعطاء كميات كبيرة من المعلومات و خاصة في حالات التحليل الديناميكي، حيث يستطيع البرنامج حساب سرعة العناصر، تسارع العناصر، اتصال و تصادم العناصر مع بعضها و تشكيل نوابض اتصال جديدة، تشققات العناصر و تحديد موضعها بشكل دقيق. كما يمكن إظهار مخططات القوى الداخلية في العناصر و الإجهادات و التشوهات النسبية في الاتجاهات الرئيسية و الثانوية. كذلك يُمكّن البرنامج المستخدم من تحديد المعلومات المطلوب حسابها و إخراجها و ذلك لتوفير مساحات التخزين اللازمة.

3.3. تقييم برنامج ELS® :

تم إجراء العديد من الدراسات و الأبحاث لتحديد فعالية و ملائمة برنامج Extreme Loading® for Structures للتحليل الهندسي الإنشائي للمنشآت في كافة الحالات، و من ضمن هذه الدراسات و البحوث التي أجريت في جامعة كارولينا الشمالية (North Carolina State University) من قبل المهندس جوشوا غريفين (Joshua Wayne

(Griffin, 2008) Griffin) فكان الهدف الأساسي لبحثه (تقييم فعالية برنامج التحليل الإنشائي Extreme Loading® for Structures في الدراسة الديناميكية اللاخطية لنمذجة حالات الانهيار المتتابع). فقد قام بأخذ حالتين لمشروعي هدم لمبنيين و قام بمقارنة نتائج انهيارهما من النمذجة بالبرنامج مع الحالة العملية الواقعية المنفذة لتفجير و إزالة هذين المبنيين. توضح الأشكال التالية المقارنة بين النموذج و الواقع الفعلي.

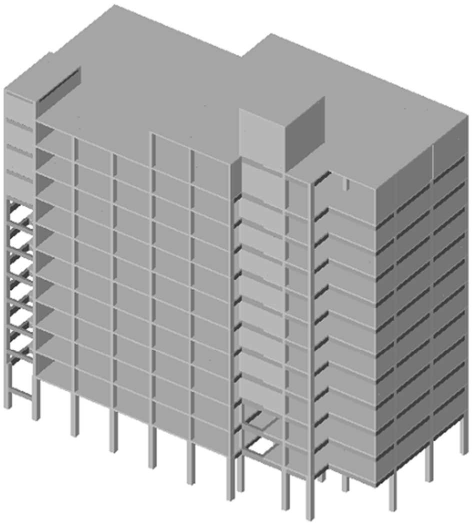
كذلك فقد قام بتحديد قيم للمعاملات الأساسية في البرنامج (NF و SF و n) الواجب استخدامها و التي تعطي نتائج أقرب للواقع في النموذج و تمثل شكلاً للانهيار أكثر دقةً، يبين الجدول (1.3.3) هذه القيم :

الجدول 1.3.3 : قيم المعاملات المعدلة من قبل (Griffin, 2008) [5]

المعامل	القيمة
G	0.3E
NF	0.0001
SF	0.00001
n	3.0

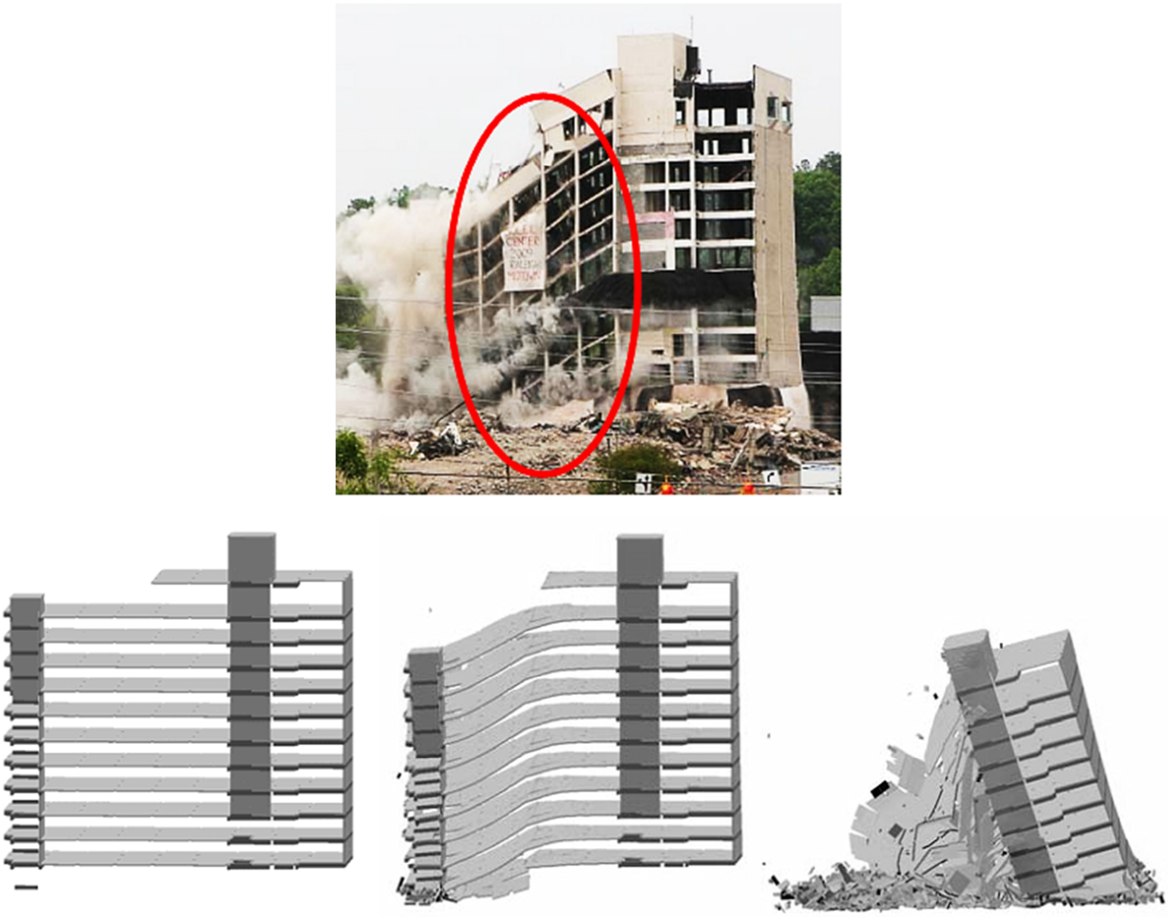


الحالة الأولى (فندق شيراتون Carbtree)



نموذج الحالة الأولى في البرنامج

الشكل 1.3.3 :مقارنة بين الحالة الأولى عند (Griffin, 2008) و النموذج في برنامج ELS® [5]

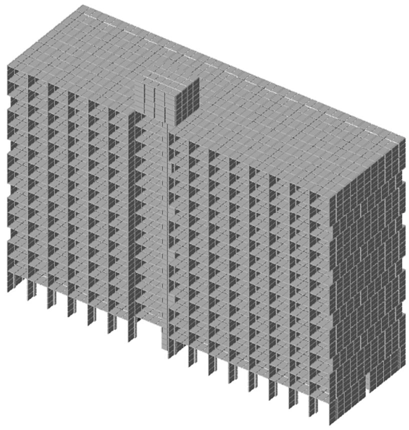


الشكل 2.3.3 : مقارنة انهيار نموذج الحالة الأولى عند (Griffin, 2008) مع الانهيار الفعلي [5]



ب. مقطع　　　　　　　　　　أ. مسقط

الشكل 3.3.3 : شكل الانهيار النهائي لنموذج الحالة الأولى عند (Griffin, 2008) [5]



نموذج الحالة الثانية في البرنامج



الحالة الثانية (برج Stubbs السكني)

الشكل 4.3.3 : مقارنة بين الحالة الثانية عند (Griffin, 2008) و النموذج في برنامج ELS® [5]



الشكل 5.3.3 : مقارنة مراحل انهيار نموذج الحالة الثانية عند (Griffin, 2008) مع الانهيار الفعلي [5]

ب. مقطع



أ. مسقط



الشكل 6.3.3 : شكل الانهيار النهائي لنموذج الحالة الثانية عند (Griffin, 2008) [5]

1.3.3. دراسة بحثية لتقييم برنامج ®ELS :

تمت نمذجة الإطار البيتوني المعرض لقوة جانبية و المبين في الشكل (11.5.2) الموضح عليه أبعاد و تسليح الإطار مع أخذ كامل الموصفات للمواد و تقسيمات الإطار و عدد النوابض من (Tagel-Din and Meguro, 2000)، يخضع الإطار لقوة جانبية P تم تطبيقها بـــ 200 تزايد (increment).

يبين الجدول (2.3.3) مواصفات المواد المستخدمة في النمذجة و قيم المعاملات و المدخلات الخاصة بطريقة العناصر التطبيقية و برنامج ®ELS.

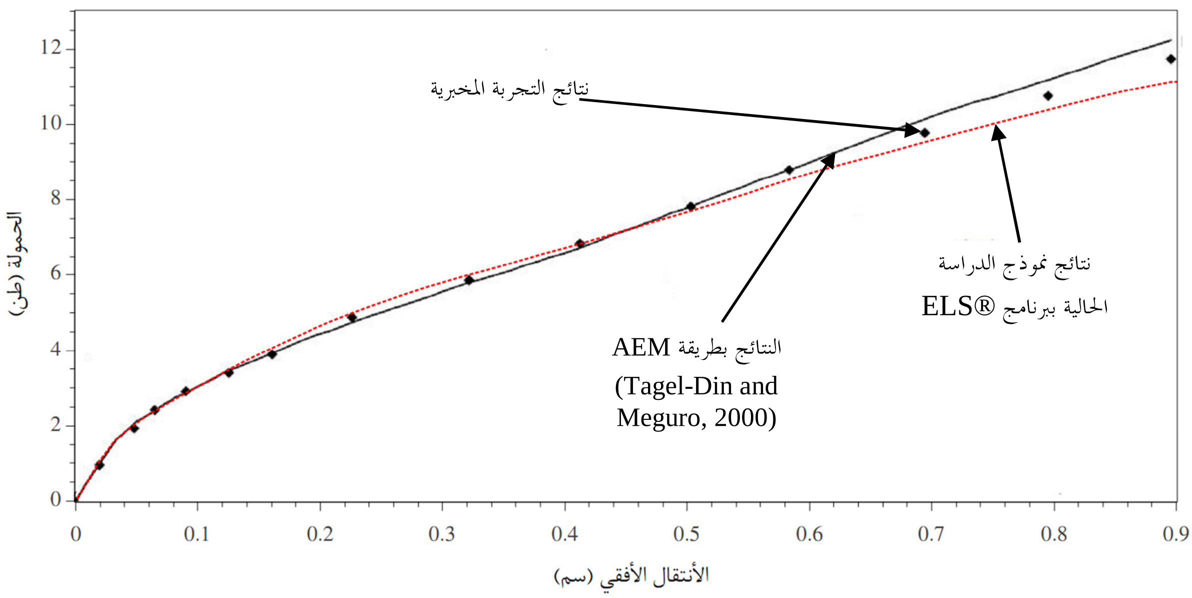
كذلك يبين الشكل (ـــــ) نموذج الإطار المدخل إلى البرنامج و شكل التشوه الحاصل عند حمولة الانهيار.

الجدول 2.3.3 : مواصفات المواد و المعاملات المستخدمة في نموذج الدراسة الحالية لتقيم برنامج ®ELS

حد السيلان للفولاذ f_y	4,620	kg/cm^2
المقاومة المميزة للبيتون f_c\`	186	kg/cm^2
مقاومة الشد للبيتون	15	kg/cm^2
معامل يونغ للبيتون E	254,000	kg/cm^2
معامل القص للبيتون G	76,200	kg/cm^2
عدد النوابض الرابطة	10	—
معامل قساوة الاتصال الناظمي (NF)	0.0001	—
معامل قساوة الاتصال القصي(SF)	0.00001	—
معامل الطاقة الضائعة (n)	2.0	—

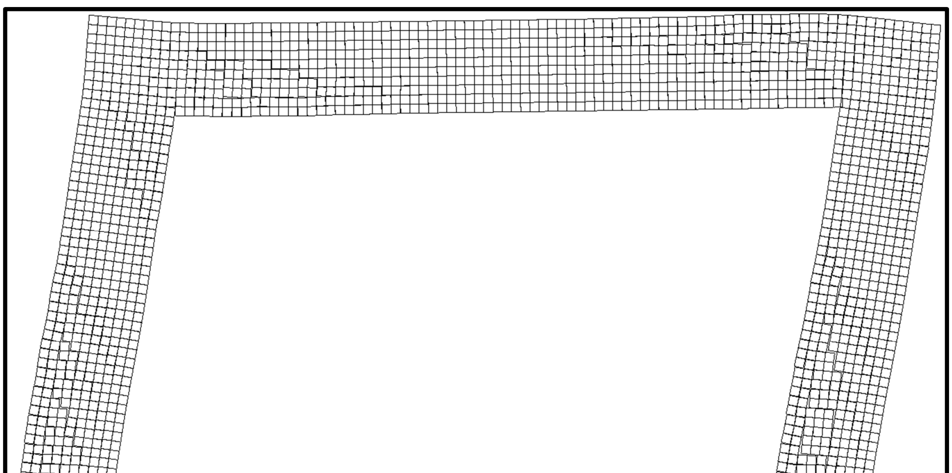
تمت مقارنة نتائج الانتقال الأفقي من النمذجة في برنامج ®ELS مع نتائج (Tagel-Din and Meguro, 2000) و نتائج التجربة المخبرية المذكورة في نفس البحث. يظهر الشكل (7.3.3) مقارنة النتائج لعلاقة الحمولة بالانتقال الأفقي.

أظهرت المقارنة تقارب جيد بين نتائج نموذج الدراسة الحالية و النتائج السابقة مع ظهور فروقات عند الانتقالات الكبيرة وصلت لحدود 7% تقريباً. مما يبين قدرة البرنامج على استخدام طريقة العناصر التطبيقية و مقاربة نتائجه مع نتائج الأبحاث السابقة.



الشكل 7.3.3 : مقارنة علاقة الحمولة–الانتقال بين نموذج الدراسة الحالية ببرنامج ELS®

و نتائج (Tagel-Din and Meguro, 2000)



الشكل 8.3.3 : الشكل المشوه عند حمولة الانهيار للإطار بحسب نموذج الدراسة الحالية ببرنامج ELS® (التشوهات 20x)

الفصل الرابع

الدراسة التطبيقية

1.4. مقدمة :

إن المنهج المتبع في الدراسة التطبيقية، و لتحقيق أهداف البحث، ينطلق وفق الخطوات التالية :

1. اختيار جملة إنشائية مستوية تتوافق مع هدف البحث (للأبنية منخفضة الطوابق). يمثل هذا الاختيار حالة الوضع الراهن لمشاريع الإزالة للأبنية القديمة أو التي يراد التخلص منها لعدم كفاءتها.

2. اختيار مجموعة من مواصفات الجملة المختارة (الجملة المرجعية)، حيث يتم تغير هذه المواصفات للحصول على عدد من النماذج المعبرة عن حالات وضع راهن مختلفة بحسب تغير هذه المواصفات.

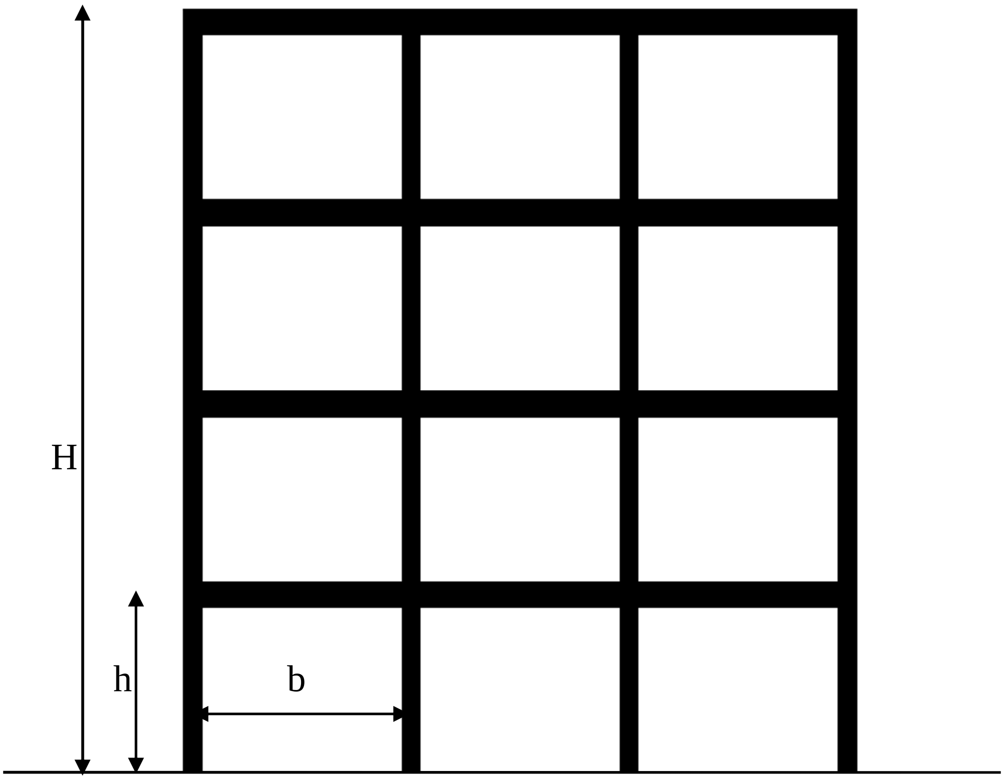
3. تحدد مجموعة من العناصر الإنشائية الحاملة، لكي يتم إزالتها لإحداث إنهيار لكامل المنشأ بشكل انهيار متتابع (Progressive Collapse). و تطبق هذه الإزالة على كل النماذج المختارة.

4. استخدام طريقة التحليل الجديدة، طريقة العناصر التطبيقية (Applied Element Method)، لنمذجة هذه المنشآت المختارة و نمذجة انهياراتها بمساعدة برنامج ELS®.

5. دراسة أشكال و متطلبات الانهيارات الناتجة، و يوضع على أساسها الاقتراحات و النتائج التي يمكن الاستفادة منها لتنفيذ مشاريع الإزالة و الهدم بالحل الأمثل الذي يحقق الأمان المطلوب و التكلفة و الزمن الأقل.

2.4. اختيار الجملة الإنشائية المستوية :

كون هدف البحث يحدد دراسة الأبنية الطابقية منخفضة الارتفاع و ذات الجمل الإطارية فإن الشكل العام للجملة سيكون كما يلي :



الشكل 1.2.4 : الشكل العام للجملة الإنشائية المدروسة في البحث

1.2.4. وصف الجملة الإنشائية للنموذج المرجعي :

1. جملة إطارية : تم اختيار الجملة الإطارية، للتوافق مع هدف البحث الرئيسي المتمثل بإزالة الأبنية القديمة، التي تعتبر بأغلبها ذات جمل (إطارية) معتمدة على الأعمدة و الجوائز لتحمل الحمولات الشاقولية فقط.
2. عدد الطوابق أربعة : لنفس الأسباب السابقة و بحسب الهدف المحدد للبحث.
3. عدد الفتحات ثلاثة : لتبسيط الشكل الإنشائي و تقليل طرق و أشكال الانهيار المتوقع حدوثها.
4. مجاز الفتحة الواحدة للإطار $b = 4$ متر (للنموذج المرجعي).
5. الارتفاع الطابقي $h = 3.5$ متر.

يصمم الإطار لتحديد أبعاد العناصر الإنشائية و تسليحها، بطرق الحساب البسيط ليكون كنموذج للوضع الراهن.

3.4. تصميم الجملة الإطارية للنموذج المرجعي كحالة وضع راهن :

اعتمد الكود العربي السوري 1995 [1]، كمرجع لحساب و تصميم العناصر الإنشائية في الإطار، كما اعتمدت الطرق التقريبية للحساب و ذلك لمقاربة الحساب مع الأبنية القديمة.

المقاومة المميزة للبيتون (للنموذج المرجعي) : $f_c` = 18$ MPa

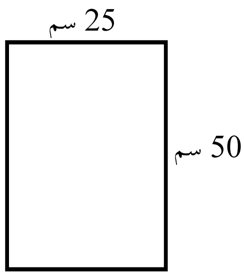
حد السيلان لفولاذ التسليح : $f_y = 240$ MPa

1.3.4. تحديد أبعاد الجوائز :

يحدد عمق الجوائز من شرط السهم، باعتبار الجائز الأخطر مستند من طرف واحد :

$$h = L/15 = 400/15 = 26.7 \text{ cm}$$

يعتمد عرض الجائز 25 سم (أصغري) ← عمق الجائز 50 سم



الشكل 1.3.4 : أبعاد الجوائز المستخدمة قي الإطارات

تعتمد الحمولات التالية في التصميم، و ذلك بحسب الكود المعتمد [1] :

الحمولات الحية	الحمولات الميتة	
	حمولة القواطع	حمولة التغطية
300 kg/m^2	200 kg/m^2	300 kg/m^2

و باعتماد سماكة البلاطة 15 سم ← $1*1*0.15*2500 = 375 \ kg/m^2$

تحسب الحمولة الموزعة على البلاطة فتكون كما يلي :

$$W_u = 1.5*(300 + 200 + 375) + 1.8*300 = 1852.5 \ kg/m^2 = 1.853 \ t/m^2$$

و بحساب الحمولات المنقولة للجوائز، باعتبار البلاطات مربعة الشكل :

$$L/L = 1 \quad \rightarrow \quad \alpha = 0.667 \quad \beta = 0.5$$

و من معادلات نقل الحمولة يكون لدينا :

حمولة حساب العزم $\quad w_{e1} = \alpha.W_u.l/2 = 0.667*1.853*4/2 = 2.472 \ t/m`$

حمولة حساب القص $w_{e1} = \beta.W_u.l/2 = 0.5*1.853*4/2 = 1.853$ t/m`

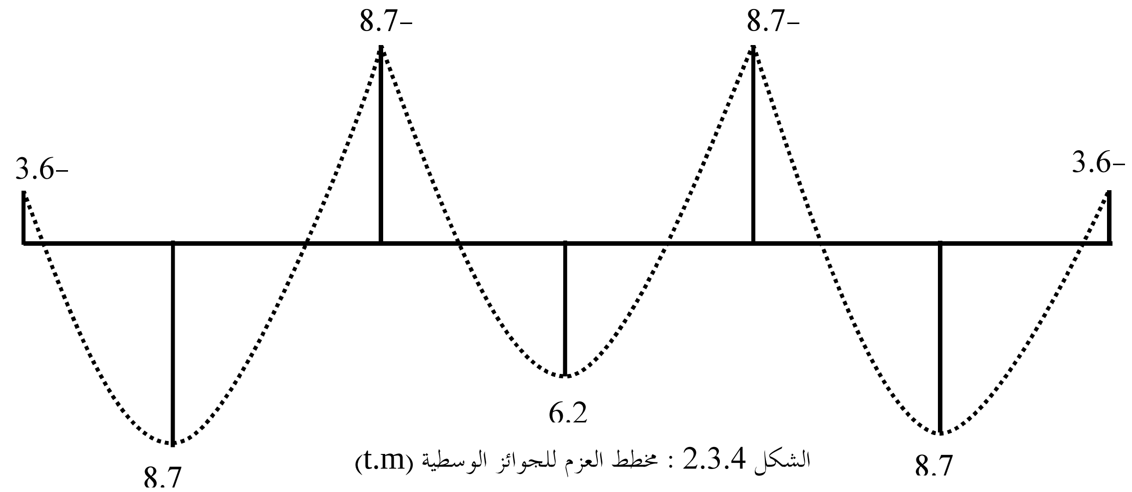
حمولة الوزن الذاتي للجوائز ← $1.5*(0.25*0.5*2.5) = 0.47$ t/m^2

فتكون الحمولة النهائية على الجوائز الوسطية مع نقل حمولة بلاطتين و الوزن الذاتي :

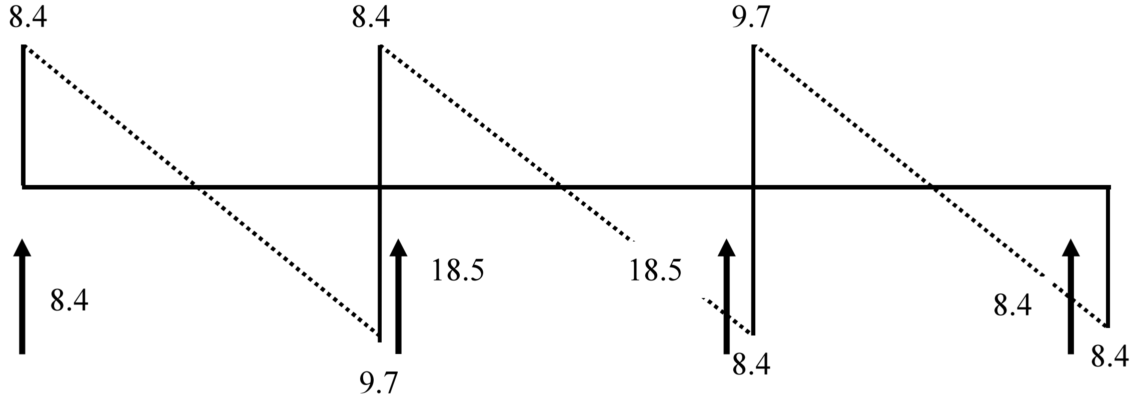
حمولة حساب العزم $W_1 = 2*2.472 + 0.47 = 5.4$ t/m`

حمولة حساب القص $W_2 = 2*1.853 + 0.47 = 4.2$ t/m`

و بحسب الطرق التقريبية المعتمدة في الكود [1] فتكون مخططات العزم و القص للجائز الوسطي بالشكل التالي :



الشكل 2.3.4 : مخطط العزم للجوائز الوسطية (t.m)

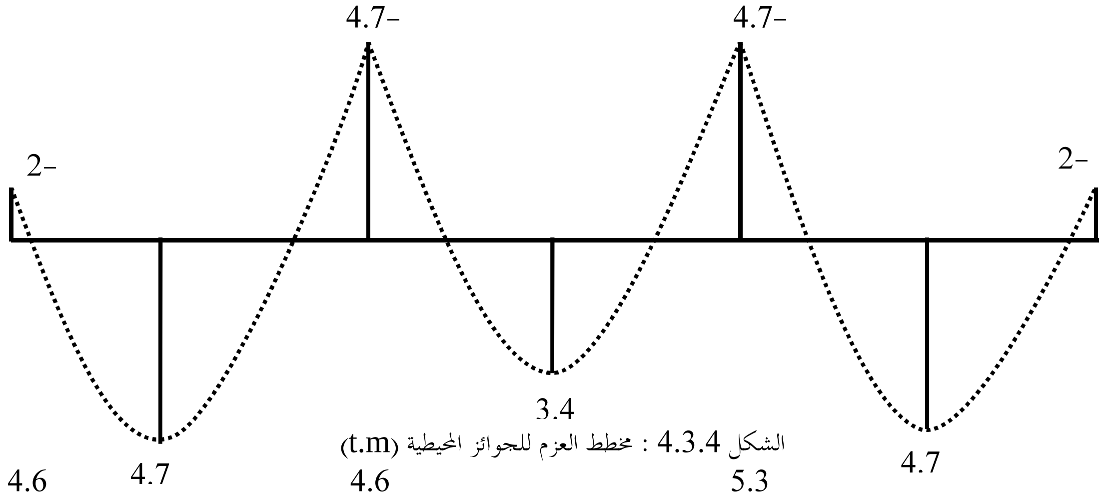


الشكل 3.3.4 : مخطط القص و ردود الأفعال للجوائز الوسطية (t)

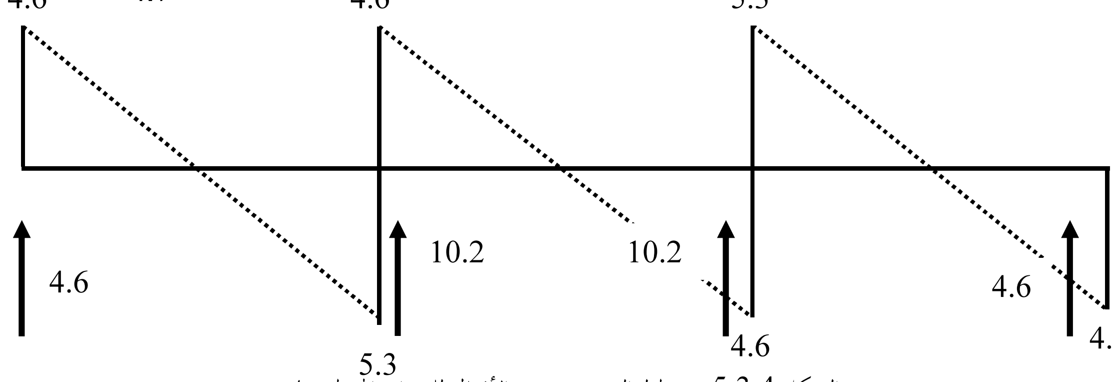
و الحمولة النهائية على الجوائز المحيطية مع نقل حمولة بلاطة و احدة و الوزن الذاتي :

حمولة حساب العزم $W_1 = 2.472 + 0.47 = 2.94$ t/m`

حمولة حساب القص $W_2 = 1.853 + 0.47 = 2.32$ t/m`



الشكل 4.3.4 : مخطط العزم للجوائز المحيطية (t.m)



الشكل 5.3.4 : مخطط القص و ردود الأفعال للجوائز المحيطية (t)

2.3.4. حساب تسليح الأعمدة :

بحسب الكود السوري [1] و بأخذ الإجهادات المسموحة لحساب تحمل المقطع البيتوني على الضغط البسيط :

$$N_u = 0.85.f_c`.A_c`+f_y.A_s`$$

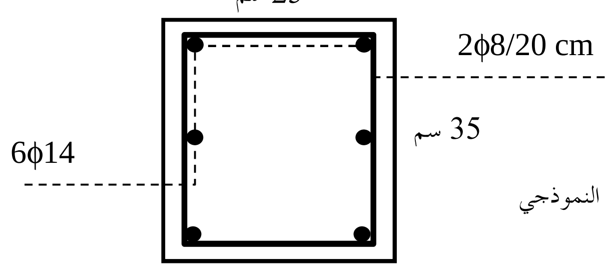
و باعتبار $\mu = \frac{A_s`}{A_c`} = 1\%$

N_u = رد الفعل + وزن العامود = 18.5*4*2 + (1.5*0.25*0.35*3.5*2.5)*4 = 152.6 t

➔ $A_c` = 862.2\ cm^2$

تؤخذ أبعاد الأعمدة : <u>25 x 35 cm</u>

و بنسبة تسليح 1% ← نستخدم تسليح 6ϕ14 مع أساور 2ϕ8/20 cm



الشكل 6.3.4 : أبعاد و تسليح العمود النموذجي

3.3.4. حساب التسليح الطولي للجوائز :

باستخدام العلاقات يحسب تسليح الجوائز لثلاث حالات باعتبار ما يلي :

$$\alpha_{max} = \frac{5350*0.5}{6300+f_y} = 0.409 \quad \rightarrow \quad A_{omax} = \alpha_{max}.(1-0.5.\ \alpha_{max}) = 0.325$$

$$\rightarrow \quad M_{umax} = \Omega.A_{omax}.0.85.f_c`.b.d^2 = 24.7 \text{ t.m} > M \rightarrow$$ تسليح أحادي

تحسب القيم التالية لكل حالة من حالات االعزم و تقارن مع التسليح الأصغري

$$A_{smin} = \frac{9}{f_y}.b.d = 44.1 \text{ cm}^2$$

$$A_o = \frac{M}{\Omega.b.d^2.0.85.f_c^{`}} \qquad \alpha = 1-\sqrt{1-2.A_o} \qquad \gamma_o = 1-\frac{\alpha}{2} \qquad : \Omega = 0.9$$

$$A_s = \frac{M}{\Omega.\gamma_o.d.f_y} \quad \rightarrow$$

$M = 8.7$ t.m → $A_s = 913$ mm^2 → 5ϕ16

$M = 4.7$ t.m → $A_s = 478$ mm^2 → 4ϕ14

$M = 3.4$ t.m → $A_s = 441$ mm^2 → 3ϕ14

4.3.4. حساب التسليح العرضي للجوائز :

$$t_u = \frac{V_u}{0.85.b.d} = \frac{9.7 \text{ t}}{0.85.250.470} = 0.971 \text{ N/mm}^2$$

يحسب ما يلي :

$$\tau_{cu} = 0.23.\sqrt{f_c^{`}} = 0.976 \text{ N/mm}^2 \qquad \tau_{umax} = 0.65.\sqrt{f_c^{`}} = 2.76 \text{ N/mm}^2$$

← يستخدم تسليح أساور أصغري

$$A_{smin} = \frac{0.35}{f_y}.b.S$$

و باختيار تباعد 25 سم ← $A_{smin} = 91.1$ mm^2

لذلك يتم اختار أساور <u>2ϕ8/25 cm</u>

4.4. النماذج المختارة للدراسة

للحصول على مجموعة من النماذج إنطلاقاً من الجملة الإنشائية الأولية (المرجعية) المحسوبة، يتم تغيير مجموعة من مواصفات المنشأ و التي تؤثر على انهيار المبنى و شكل هذا الانهيار. هذا العوامل هي مجاز فتحة الإطار، نسبة التسليح الطولي في الأعمدة و الجوائز و مقاومة البيتون. كما أنه سيتم تغير تكثيف التسليح العرضي للجوائز لثلاث حالات (خفيف و متوسط و كثيف).

1.4.4. مجاز فتحة الإطار :

انطلاقاَ من كون معظم الأبنية القديمة ذات مجازات صغيرة، فستعتمد بالإضافة للمجاز المرجعي "4 متر" كقيمة وسطية، فتحات بقيمة أصغرية 3 متر، و قيمة أعظمية 5 متر.

2.4.4. التسليح الطولي :

إنطلاقاً من التسليح الطولي للعمود الناتج من الحساب (كممثل لوضع راهن) (6ϕ14) حيث نسبة التسليح هي تقريباً 1% و باعتبارها نسبة وسطية، فإننا سوف نأخذ تسليح أصغري بنسبة 0.6% و تسليح أعظمي بنسبة 1.5% للحصول على حالات التغيير المطلوبة، فيكون ما يلي :

(6ϕ14)*0.6 = 5.54 cm^2 ➔ نختار 4ϕ14 ➔ تقابل 70% من التسليح المرجعي

(6ϕ14)*1.5 = 13.86 cm^2 ➔ نختار 6ϕ16 ➔ تقابل 140% من التسليح المرجعي

بالنسبة للجوائز فسيتم اعتماد نسب التسليح المحسوبة السابقة للمقاطع المختلفة و تعميمها كحالات صغرى و وسطية و عظمى، باعتباراها القيم المختارة لحالات التغيير المطلوبة، كما يلي:

5ϕ16 ➔ تقابل الحالة الصغرى للتسليح الطولي

4ϕ14 ➔ تقابل حالة التسليح المرجعي

3ϕ14 ➔ تقابل الحالة العظمى للتسليح الطولي

و كذلك بالنسبة للتسليح الطولي العلوي عند المساند، فسنعتمد قيم التسليح نفسها و بالتغيرات نفسها.

3.4.4. مقاومة البيتون :

بالاعتماد على نفس النسب المختارة، و انطلاقاً من المقاومة التصميمية لبيتون النموذج المرجعي، فيتم اختيار القيم التالية للحصول على حالات التغيير المطلوبة لمقاومة البيتون :

$f_c' = 12$ MPa ➔ تقابل نسبة 70% من المقاومة المرجعية

$f_c' = 18$ MPa ➔ تقابل نسبة 100% من المقاومة المرجعية

$f_c' = 25$ MPa ➔ تقابل نسبة 140% من المقاومة المرجعية

4.4.4. التسليح العرضي (الأساور) :

سيتم اعتماد قيمة تسليح القص المحسوبة للحالة المرجعية (2ϕ8/25 cm) باعتبارها حالة التكثيف الخفيفة.

و سنعتمد حالة تسليح القص الكثيفة بالشكل : 2ϕ10/10 cm (عشر أساور قطر 10مم بالمتر الطولي)

مما ينتج حالة التكثيف المتوسطة، كوسط حسابي بين الحالتين بالشكل :

2ϕ10/16.7 cm (ستة أساور قطر 10مم بالمتر الطولي)

التكثيف يتم لربع المجاز من الطرفين، و في الوسط يعتمد الأساور الأقل، و بذلك يعرف ما يلي :

أساور خفيفة ⇔ 2ϕ8/25 cm على كامل المجاز

أساور متوسطة ⇔ 2ϕ10/16.7 cm ربع المجاز + 2ϕ10/25 cm منتصف المجاز

أساور كثيفة ⇔ 2ϕ10/10 cm ربع المجاز + 2ϕ10/16.7 cm منتصف المجاز

سوف نحصل في النهاية على 21 نموذجاً مبيناً في الجدول (1.4.4). تتضمن مايلي لكل حالة من حالات الأساور (التسليح العرضي):

1. نموذج مرجعي واحد، بالمواصفات المتوسطة بحسب التصممميم المعتمد.
2. نموذجين تم فيهما تغيير الحالة المرجعية **للمجاز** (b) للقيم الدنيا و العظمى (3 متر و 4 متر).
3. نموذجين تم فيهما تغيير الحالة المرجعية **لنسبة التسليح الطولي** للقيم الدنيا و العظمى (70 و 140%).
4. نموذجين تم فيهما تغيير الحالة المرجعية **لمقاومة اليتون** للقيم الدنيا و العظمى (12 MPa و 25 MPa).

الجدول 1.4.4 : مواصفات النماذج E للأبنية المختارة للدراسة

رقم النموذج / كثافة التسليح العرضي (الأساور)				المجاز (m)	نسبة التسليح (%)	مقاومة البيتون f́c (MPa)
خفيفة	متوسطة	كثيفة				
E1	E2	E3	النموذج المرجعي	4	100	18
E4	E5	E6	تغيير المجاز (b)	3		
E7	E8	E9		5		
E10	E11	E12	تغيير نسبة التسليح	4	70	
E13	E14	E15			140	
E16	E17	E18	تغيير مقاومة البيتون		100	12
E19	E20	E21				25

حيث أن :

E1 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور خفيفة (حسب التعريف).

E2 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور متوسطة (حسب التعريف).

E3 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور كثيفة (حسب التعريف).

E4 : النموذج ذو : فتحة المجاز 3 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور خفيفة (حسب التعريف).

E5 : النموذج ذو : فتحة المجاز 3 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور متوسطة (حسب التعريف).

E6 : النموذج ذو : فتحة المجاز 3 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور كثيفة (حسب التعريف).

E7 : النموذج ذو : فتحة المجاز 5 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور خفيفة (حسب التعريف).

E8 : النموذج ذو : فتحة المجاز 5 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور متوسطة (حسب التعريف).

E9 : النموذج ذو : فتحة المجاز 5 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور كثيفة (حسب التعريف).

E10 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 4ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 3ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور خفيفة (حسب التعريف).

E11 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 4ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 3ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور متوسطة (حسب التعريف).

E12 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 4ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 3ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور كثيفة (حسب التعريف).

E13 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ16 - تسليح طولي للجوائز 5ϕ16 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور خفيفة (حسب التعريف).

E14 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ16 - تسليح طولي للجوائز 5ϕ16 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور متوسطة (حسب التعريف).

E15 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ16 - تسليح طولي للجوائز 5ϕ16 - مقاومة مميزة للبيتون 18 MPa – و بأساور كثيفة (حسب التعريف).

E16 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 12 MPa – و بأساور خفيفة (حسب التعريف).

E17 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 12 MPa – و بأساور متوسطة (حسب التعريف).

E18 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 12 MPa – و بأساور كثيفة (حسب التعريف).

E19 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 25 MPa – و بأساور خفيفة (حسب التعريف).

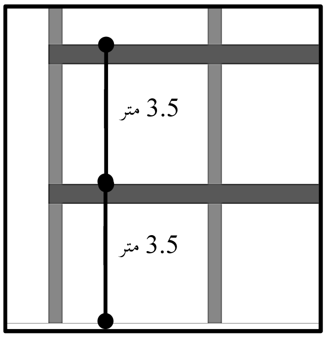
E20 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 25 MPa – و بأساور متوسطة (حسب التعريف).

E21 : النموذج ذو : فتحة المجاز 4 متر - بتسليح طولي للأعمدة 6ϕ14 - تسليح طولي للجوائز 4ϕ14 - مقاومة مميزة للبيتون 25 MPa – و بأساور كثيفة (حسب التعريف).

5.4. النمذجة و مدخلات برنامج ®ELS :

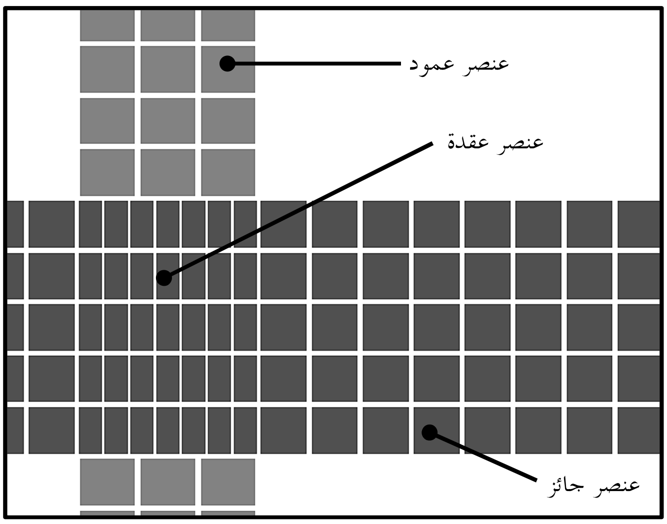
بحسب الدراسة النظرية و المرجعية و أبحاث تقييم طريقة العناصر التطبيقية و برنامج ®ELS المذكورة في الفصلين الثاني و الثالث، فسيتم اختيار القيم التالية لنمذجة المنشآت الداخلة في الدراسة :

1.5.4. الارتفاع الطابقي $h = 3.5\ m$، يعتبر الارتفاع الطابقي في البرنامج من سطح الجائز لسطح الجائز في الطابق الذي يليه، بحسب الشكل :



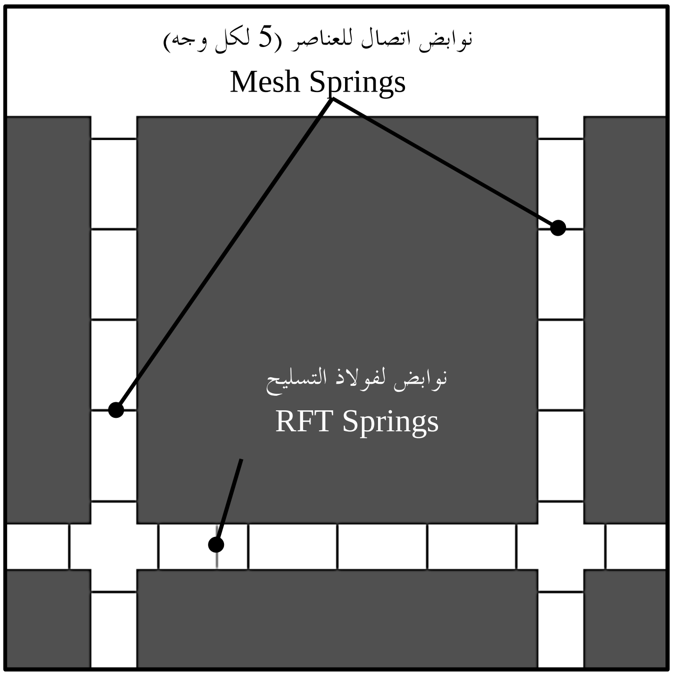
الشكل 1.5.4 : حدود الارتفاع الطابقي في برنامج ELS

2.5.4. تقسم عناصر النموذج (**Meshing**) لعناصر منتهية تطبيقية (Applied Elements) بحيث تكون أبعاد العنصر الواحد 10*10 سم (تقريباً) للجوائز و الأعمدة، و تكون 5*5 سم للعقد. حيث تم تصغير تقسيمات العقد لزيادة دقة حساب الإجهادات و الانتقالات و تشكل التشققات داخل العقد. كما يوضح الشكل التالي :



الشكل 2.5.4 : تقسيم عناصر المنشأ لعناصر تطبيقية بحسب النموذج المدروس

3.5.4. اختيار **عدد النوابض** الرابطة بين أوجه العناصر التطبيقية يعتمد على الدقة المطلوبة للدراسة و يتناسب مع سرعة التحليل. و بحسب الدراسة المرجعية و النظرية فإن تأثير عدد النوابض يقل كلما كان حجم العنصر التطبيقي المنتهي صغير بالنسبة لحجم المنشأ [10]، و بما أن التقسيمات التي تم اختيارها تعتبر صغيرة فلا يؤثر تقليل عدد النوابض على الدقة، و رغم ذلك فقد اختير أن يتم الاتصال بـــ (5) نوابض للوجه.



الشكل 3.5.4 : عدد نوابض الاتصال و طريقة الوصل المستخدمة في النموذج

4.5.4. **معاملات الاتصال** : هي المعاملات التي تحدد قساوة النوابض المتشكلة عند اتصال أو تصادم عنصرين. تؤخذ هذه العوامل من الدراسة المرجعية للمهندس جوشوا غريفين (Joshua Wayne Griffin) في بحثه التقييمي لبرنامج ELS® (Griffin, 2000) :

- معامل قساوة الاتصال الناظمي (Normal Contact Stiffness Factor)

NF = 0.0001

- معامل قساوة الاتصال القصي (Shear Contact Stiffness Factor)

SF = 0.00001

- معامل الطاقة الضائعة (Contact Spring Unloading Stiffness Factor)

n = 2

5.5.4. المواد : يتم اعتماد المواصفات التالية للبيتون و لفولاذ التسليح المستخدم في النمذجة :

فولاذ التسليح بحسب القيم التي تم إعتمادها للمعاملات و المدخلات و بحسب الكود ACI-318:02 نأخذ القيم التالية :

الجدول 1.5.4 : مواصفات فولاذ التسليح المستخدم في النمذجة

حد السيلان f_y	240	MPa
معامل يونغ E	200,000	MPa
معامل القص G	80,000	MPa
الوزن النوعي	7.84	t/m^3
معامل التشوه النسبي للانفصال (Separation Strain)	0.2	--

البيتون

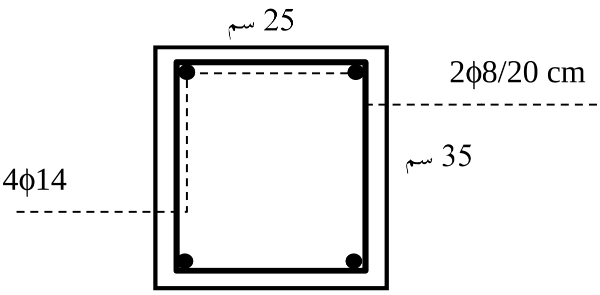
يتم اعتماد القيم التالية بحسب القيم المعتمدة للمعاملات و دراسات التقييم (Griffin, 2000) :

$$E = 4493.\sqrt{f_c^`} \qquad G = 0.3*E$$

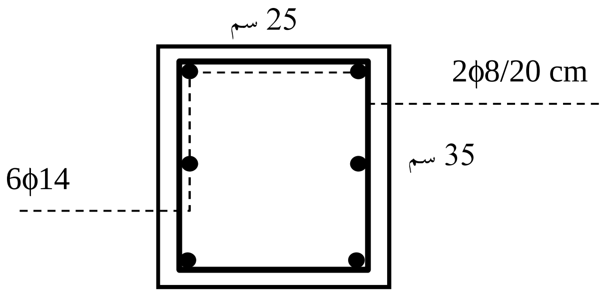
الجدول 2.5.4 : مواصفات البيتون المستخدم في النمذجة

المقاومة المميزة للبيتون f_c`	25	18	12	MPa
معامل يونغ E	22,465	19,062	15,564	MPa
معامل القص G	6,739	5,718	4,669	MPa
الوزن النوعي	2.5	2.5	2.5	t/m^3
معامل التشوه النسبي للانفصال (Separation Strain)	0.1	0.1	0.1	--

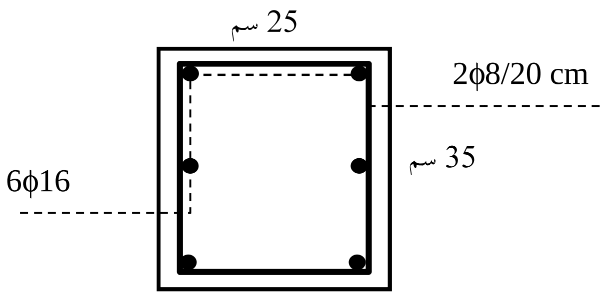
6.5.4. نماذج **الأعمدة** المدخلة في البرنامج لحالات التسليح المختلفة للنماذج **E**، كما يلي :



(a التسليح الأصغري 70% من المرجعي



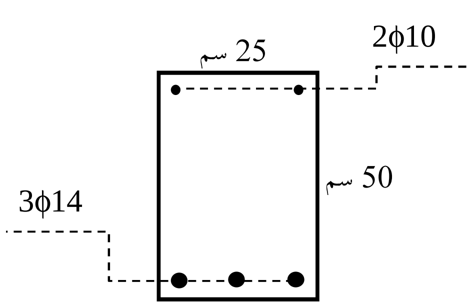
(b التسليح المتوسط المرجعي 100%



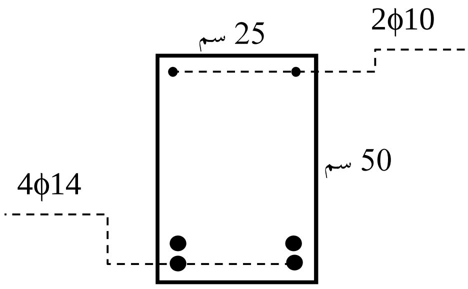
(c التسليح الأعظمي 140% من المرجعي

الشكل 4.5.4 : نماذج الأعمدة المدخلة للبرنامج

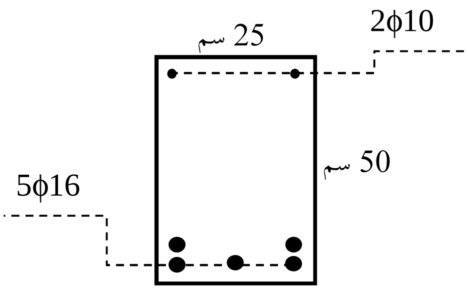
7.5.4. نماذج **الجوائز** المدخلة في البرنامج لحالات التسليح المختلفة للنماذج **E**، كما يلي :



(a التسليح الأصغري 70% من المرجعي



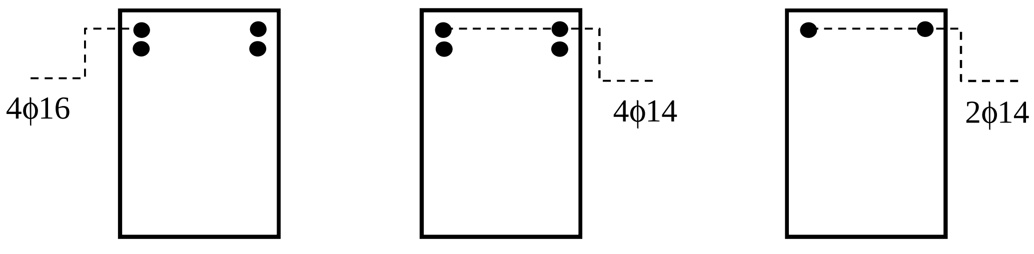
(b) التسليح المتوسط المرجعي 100%



(c) التسليح الأعظمي 140% من المرجعي

الشكل 5.5.4 : نماذج الجوائز المدخلة للبرنامج

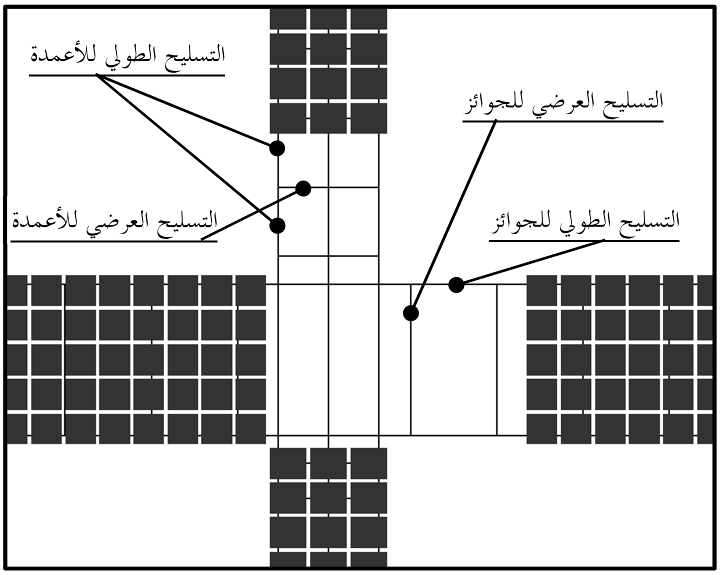
8.5.4. تسليح العقد : لتحقيق التسليح العلوي عند المساند، يتم نمذجة مقاطع خاصة للعقد تحوي التسليح العلوي فقط، و بنفس ترتيبات التسليح للمقاطع الوسطية (مع طرح تسليح التعليق الممدود من مقاطع الجوائز 2ϕ10) و ذلك للحصول على نفس كميات التسليح الصغرى و المتوسطة و العظمى. كما مُدّ تليسح هذه المقاطع لربع المجازين المجاورين لمقاومة العزم السالب.



التسليح الأصغري للعقدة (70%)　التسليح المتوسط للعقدة (100%)　التسليح الأعظمي للعقدة (140%)

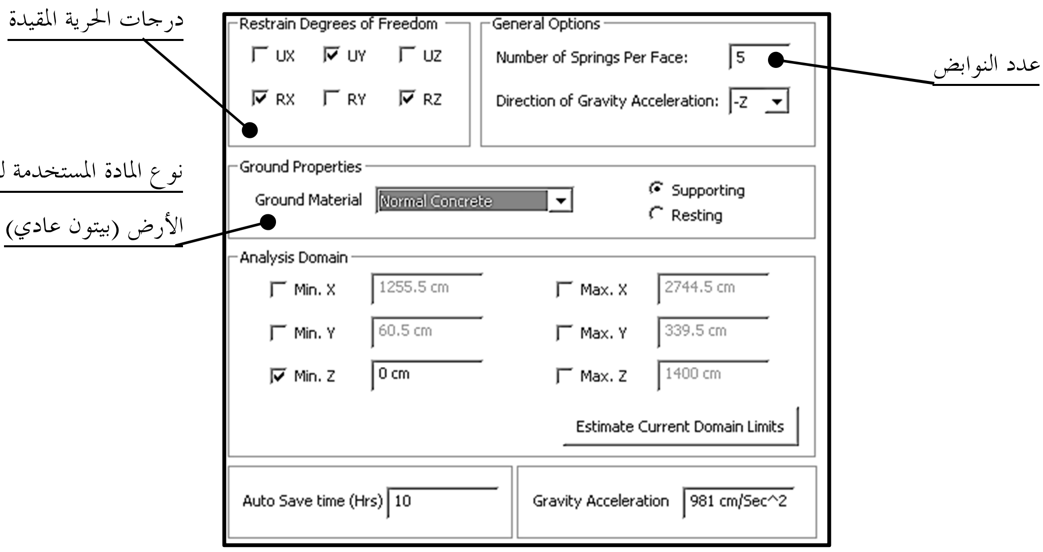
الشكل 6.5.4 : نماذج العقد المدخلة للبرنامج

و لمقاربة الحالات الواقعية فإن التسليح العرضي (الأساور) للأعمدة و الجوائز يتم إيقافه بحيث لا يكون مستمراً داخل العقدة، كما يوضح الشكل (7.5.4) :



الشكل 7.5.4 : تسليح العقد – بدون أساور

يبين الشكل التالي (8.5.4) خيارات التحليل المدخلة في البرنامج، موضحة عدد النوابض و درجات الحرية المستخدمة للحالة المستوية و مواصفات أرضية التحليل :

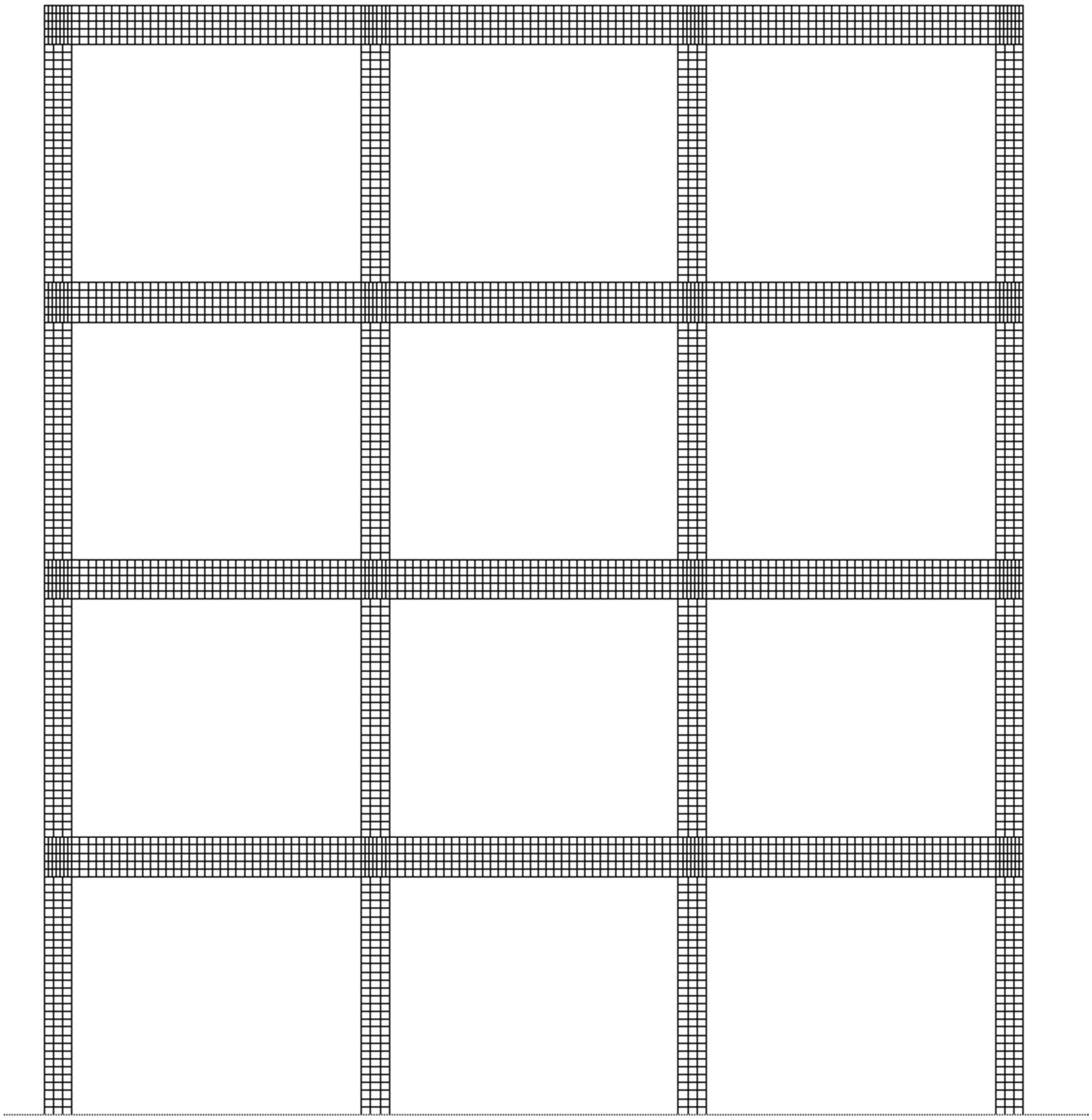


الشكل 8.5.4 : نافذة إعدادات التحليل في برنامج ELS

9.5.4. الشروط المحيطية و شروط الاستناد :

تعتبر الأرضية التي يرتكز عليها النموذج في البرنامج بيتونية كما يظهر الشكل (8.5.4)، و لتحقيق شرط الأستناد الموثوق للمنشأ فقد تم مد حديد تسليح الأعمدة في الطابق الأرضي لتشكيل نوابض ارتباط مع الأرضية البيتونية التي تمثل الوثاقة للمنشأ.

يبين الشكل (9.5.4) شكل النموذج النهائي في برنامج ELS® مع إظهار التقسيمات و الارتباط بالأرضية.



الشكل 9.5.4 : الشكل النهائي للنموذج المدروس مع التقسيم (Meshing) باستخدام برنامج ELS®

6.4. حالات التحميل (Loading Scenario) :

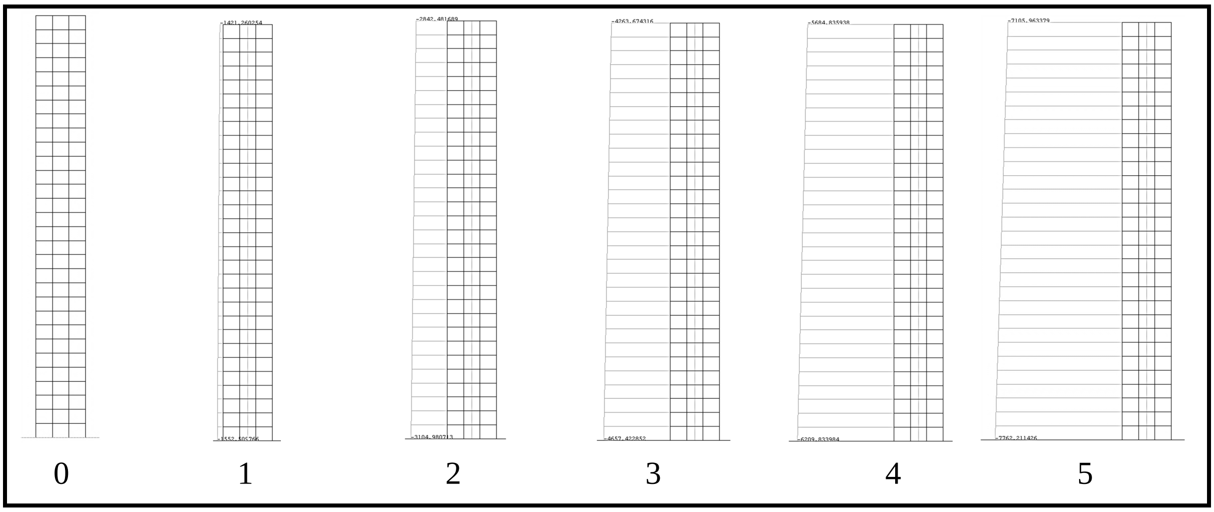
لتمثيل كامل مراحل عمل المنشأ ابتداءً من الحمولات الشاقولية ثم الانتقال لمرحلة الإزالة و حدوث الانهيار، يجب أن يتم تحليل المنشأ على **مرحلتين** (Stages) ، كما هو موضح بالشكل (1.6.4) الذي يمثل نافذة إدخال حالات التحميل :

Stage Name	Solution Type	Load Condition	Load\Unload Type	Loading Increment	Duration	Time Step
Stage 1	Static	Concentrat...	Load	5	N/A	N/A
Stage 2	Dynamic	Blast	N/A	N/A	5	0.01

الشكل 1.6.4 : نافذة إدخال حالات التحميل (Loading Scenario) في البرنامج

المرحلة الأولى : هي المرحلة الستاتيكية، التي يتم فيها تطبيق الحمولات الشاقولية الممثلة بالوزن الذاتي للمنشأ فقط (لا يتم تطبيق أي نوع من الحمولات الآخرى،الميتة أو الحية، باعتبار أنه في حالات الإزالة للمنشآت يتم التخلص من كل محتويات المنشأ والإبقاء فقط على الهيكل). يتم الوصول للحمولة النهائية الستاتيكية عن طريق تطبيق هذه الحمولة بخطوات تسمى تزايدات (Increments)، فكلما زاد عدد هذه الخطوات زادت دقة الحل و حصلنا على نتائج أفضل للتشوهات و القوى و الاجهادات الداخلية.

و بما أن المنشأ موضوع البحث صغير نسبياً و الحمولات بدورها صغيرة فسيتم الاكتفاء بتطبيق خمسة (5) تزايدات (Increments) لهذه المرحلة. يبين الشكل (2.6.4) تزايد القوى المحورية في العمود الوسطي للطابق الأرضي و كيفية تطبيق التزادات الخمسة المذكورة (تبين الأرقام رقم الخطوة أو التزايد Increment) :

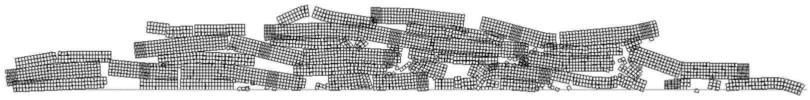


الشكل 2.6.4 : تطبيق التزايدات على العمود الوسطي الأرضي وشكل مخطط القوى المحورية

المرحلة الثانية : هي مرحلة التحليل الديناميكي التي يتم فيها إزالة العناصر الإنشائية و حدوث الانهيار. و لإجراء التحليل بالشكل المطلوب يجب تحديد قيمتين، كما هو موضح بالشكل (1.6.4) السابق (نافذة الإدخال) :

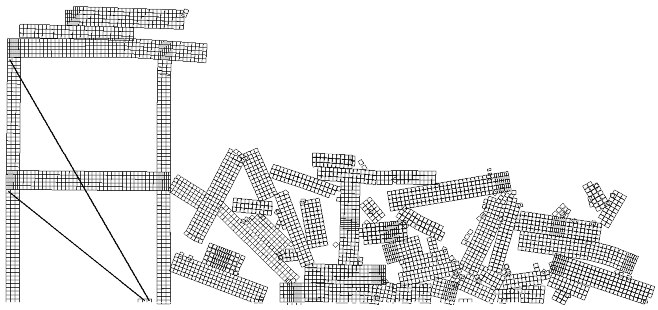
1.6.4. القيمة الأولى هي **زمن التحليل** (Duration) الذي يجب أن يحدد بمقدار كافٍ يسمح بحدوث الانهيار و استقرار كافة أجزاء المنشأ بوضعها النهائي الذي يمكن أن يكون بأحد الأشكال التالية :

1. استقرار انهيار كامل (وهو المطلوب حدوثه لكافة النماذج). بحيث تتشكل كومة أنقاض و تكون جاهزة للترحيل بالطرق التقليدية (التركسات و الشاحنات ....).



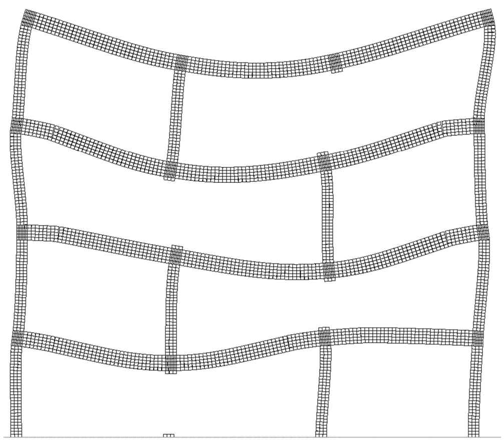
الشكل 3.6.4 : استقرار الانهيار النهائي للنموذج المرجعي E1 بانهيار ظفري

2. استقرار انهيار جزئي. يبقى جزء من المنشأ قائم و الجزء الثاني ككومة أنقاض.



الشكل 4.6.4 : استقرار الانهيار النهائي للنموذج E12 مع شداد بانهار ظفري تام

3. استقرار تشوهات كبيرة. لا يحدث انهيار بهذه الحالة و لكن تتعرض العناصر من جوائز و أعمدة لتشوهات كبيرة و حدوث تشققات في كافة الأجزاء و يخرج المنشأ عن العمل.



الشكل 5.6.4 : استقرار الانهيار بتشوهات كبيرة للنموذج E7 بانهيار متناوب

لذلك فقد تم تحديد **5 ثواني** كزمن تحليل يحقق استقرار نهائي لكافة الأشكال وفقاً لنتائج تحليل مختلفة و كون المنشأ صغير نسبياً.

2.6.4. القيمة الثانية هي **الخطوة الزمنية** (Time Step) التي يتم بها تقسيم مرحلة التحليل الديناميكي، حيث يتم إجراء حسابات مصفوفات القساوة عند كل خطوة من هذه الخطوات لذلك فإنها تؤثر بشكل كبير على دقة الحل و النتائج الخاصة بحساب الانتقالات و التشوهات و التصادمات بين العناصر.

إن تصغير الخطوة الزمنية يسبب زيادة كبيرة في الزمن اللازم لإجراء التحليل، كذلك فإن قيمة كبيرة للخطوة يسبب في نتائج أقل دقة، لذلك فإن تحديد هذه الخطوة يعتبر ذو أهمية كبيرة.

إن الخطوة الزمنية المثالية للتحليل الديناميكي تتبع لكتل العناصر المستخدمة و قساوة الاتصال بينها، فعندما تكون الكتلة كبيرة نسبياً أو الاتصال "طري" فإن استخدام خطوات زمنية طويلة يعتبر جيداً، اما في الحالات المعاكسة أي عندما تكون العناصر ذات كتلة صغيرة أو الاتصال بينها "قاسي" فالأفضل استخدام خطوات زمنية قصيرة. [4]

في حالة البيتون المسلح، فإن المادة تعتبر ذات كتلة كبيرة لذلك فإن استخدام خطوات زمنية كبيرة نسبياً يعتبر جيداً. الخطوات الزمنية المستخدمة في منشآت البيتون المسلح بين 0.001 و 0.01 ثانية. [4]
الخطوة الزمنية المثلى هي 0.001 ثانية، و لكن تحتاج لزمن تحليل طويل جداً و مساحة تخزين كبيرة، لذلك فإن استخدام الخطوة الزمنية **0.01 ثانية** يقلل من الزمن اللازم للتحليل و يعطي تصوراً جيداً عن مسار و شكل الانهيار و مقدار الضرر الحاصل للمنشأ و حالة و شكل كومة الأنقاض.

ملاحظة : يفضل تصغير الخطوة عند الحاجة لدراسة سلوك المنشأ و العناصر الإنشائية بين الخطوات الزمنية، أما في حالة البحث موضوع الدراسة فإن شكل الانهيار و شكل كومة الأنقاض هو المهم لذلك تم استخدام خطوة كبيرة نسبياً. [8]

ينتج عن هذه التقسيمات و الزمن المحدد للتحليل 500 خطوة زمنية بالإضافة لخمس تزايدات بالمرحلة الستاتيكية مما يشكل 505 خطوة للحساب.

يبين الجدول (1.6.4) مجموعة من الإحصائيات الناتجة بعد نمذجة ملف الحالة المرجعية المتضمنة لحالات تكثيف الأساور الثلاثة (أي 3 نماذج في ملف واحد E1, E2, E3) بالانهيار الظفري. حيث يبين عدد العناصر التطبيقية االنهائية المستخدمة في التحليل و و عدد نوابض البيتون و نوابض الفولاذ ، كذلك يبين حجم ملف الإخراجات النهائي.

احتاج التحليل تقريباً لــ 25-30 دقيقة باستخدام حاسب بمعالج ثنائي النواة و بسرعة 2.8 Ghz مع ذاكرة وصول عشوائي (RAM) 3 GB ، و نتج عنه ملف مخرجات بحجم 2.4 GB :

الجدول 1.6.4 : إحصاءات عن ملف النموذج المرجعي

Number of Matrix Elements	12540
Number of Steel Elements	0
Number of Matrix Springs	564600
Number of RFT Springs	36768
Number of Link Members	0
Number of Steel Springs	0
Number of Frames	506
Total Load	0.000000
Total Time	5.000000
Fixed Output Size	29.18 MB approximately
Per Frame Output Size	25.14 MB approximately
Total Output Folder Size	2406.56 MB

7.4. إزالة العناصر (Elements Removal) :

إن أفضل و أسهل الطرق لإزالة أي منشأ هو إزالة كل العناصر الحاملة في كل الطوابق، و لكن هذا الاختيار يسبب العديد من المشاكل أهمها [8] :

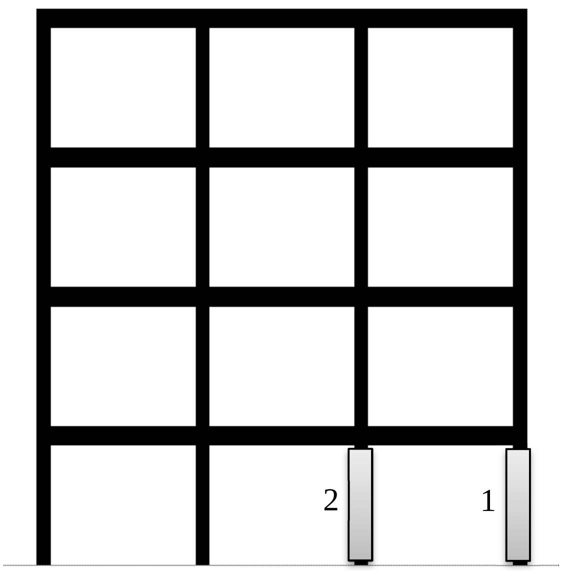
1. الحاجة لأعمال كبيرة للإزالة، و كميات كبيرة من المواد التفجرة في حال استخدام التفجير لإزالة العناصر، مما يسبب زيادة كبيرة في التكلفة.
2. التسبب بموجة ضغط كبيرة ناتجة عن أعمال الإزالة، تكون غير مرغوبة و مضرة لمحيط العمل و المنشآت المجاورة.
3. تشكل كمية كبيرة من القطع الصغيرة الناتجة عن الإزالة، و التسبب في تطايرها بشكل غير منضبط.

لذلك فإن المسار المتبع قي هذا البحث هو إزالة مجموعة صغيرة من العناصر الإنشائية الحاملة من الجملة لإحداث انهيار في المبنى بشكل انهيار متتابع (Progressive Collapse) و الحصول على شكل الاستقرار المطلوب و هو "استقرار الانهيار الكامل"، لذلك فإنه سيتم اتباع المراحل التالية لأعمال الإزالة :

1. إزالة العناصر غير الحاملة، النوافذ و الأبواب و التمديدات و التجهيزات الميكانيكية ... إلخ. و الإبقاء فقط على الهيكل الإنشائي المكون من البيتون المسلح. و ذلك لإفساح المجال للمنشأ للانهيار و تسريع الانهيار بحيث لا تعيق هذه العناصر االعملية بسبب قدرتها غير المحسوبة على التحمل و مقاومة الانهيار.
2. إزالة مجموعة قليلة من العناصر الحاملة لإحداث انهيار للمنشأ بطريقة الانهيار المتتابع (Progressive Collapse).
3. تكسير و إزالة الانقاض الناتجة بالطرق التقليدية (التجهيزات الثقيلة من كسارات و بلدوزرات و غيرها).

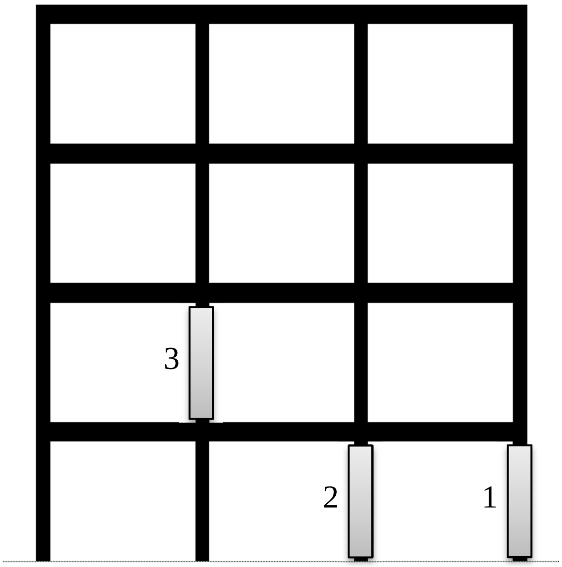
يتم تعريف أنواع الإزالة التالية، التي سيجرى عليها التحليل بحسب الحالات و النماذج المعرّفة بالجدول (1.4.4) :

1.7.4. الإزالة الظفرية : و هي الشكل الذي يتم فيه إزالة العناصر الحاملة من جهة واحدة. و تكون هذه الجهة هي التي يراد إحداث الانهيار باتجاهها و توجيه أغلب الأنقاض الناتجة لها. و ذلك حسب الشكل (1.7.4) :



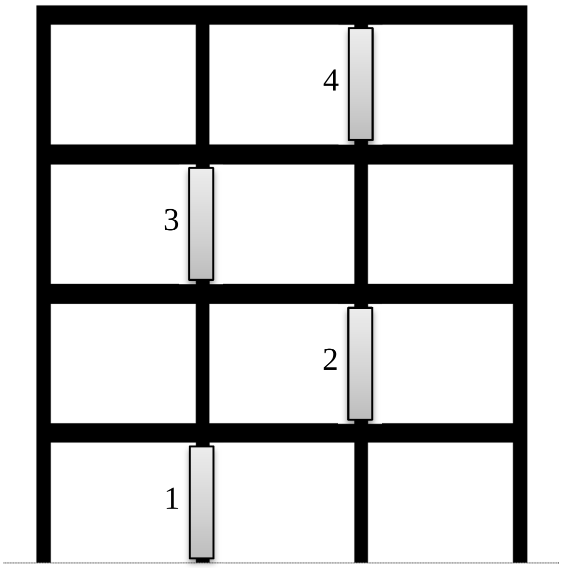
الشكل 1.7.4 : الإزالة الظفرية

تم اقتراح شكل الإزالة الظفرية بعد إجراء تجارب على أشكال أخرى كما هو موضح بالشكل (2.7.4)، و تبين أن إزالة أعمدة من الطوابق الأخرى غير الطابق الأرضي، يعتبر عمل غير مجدي نظراً لعدم الاستفادة منه في تقليل أو تغيير أبعاد كومة الأنقاض الناتجة أو اتجاهها. لذلك فللاستفادة من طريقة الانهيار الظفري يجب إزالة الأعمدة في الطابق الأرضي فقط.



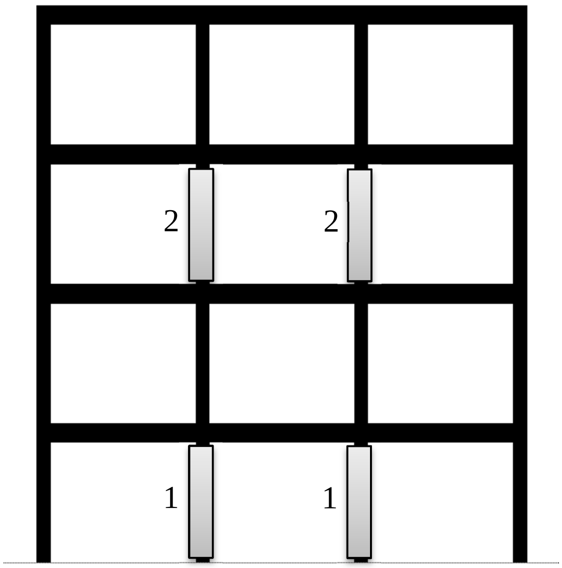
الشكل 2.7.4 : شكل تجريبي لإحداث انهيار ظفري

2.7.4. الإزالة بشكل شطرنجي : و هي الشكل الذي يتم فيه إزالة العناصر الحاملة الوسطية بشكل شطرنجي ابتداءً بالطابق الأرضي وصولاً للطابق الأخير. و ذلك لإحداث إنهيار وسطي مركزي تتجمع فيه أغلب الانقاض في وسط المنشأ. و ذلك حسب الشكل (3.7.4) :



الشكل 3.7.4 : الإزالة بشكل شطرنجي

3.7.4. الإزالة بشكل متناوب : و هي الشكل الذي يتم فيه إزالة العناصر الحاملة الوسطية بشكل متناوب بين الطوابق ابتداءً من الطابق الأرضي، بحيث نزيل من طابق و نترك الذي يليه ثم نزل من الذي يليه و هكذا. و ذلك لإحداث إنهيار وسطي مركزي تتجمع فيه أغلب الانقاض في وسط المنشأ. و ذلك حسب الشكل (4.7.4) :



الشكل 4.7.4 : الإزالة بشكل متناوب

تمثل الأرقام الظاهرة على أشكال الانهيار ترتيب إزالة كل عنصر من العناصر الحاملة، حيث أن الإزالة يجب أن تتم بشكل متسلسل لإحداث تدهور و تشكل التشققات و الفواصل اللدنة في المنشأ لتنفيذ الانهيار بالشكل المطلوب، لذلك يجب تحديد الفترة الزمنية الفاصلة بين إزالة كل مجموعة من العناصر.

إن حجم الأجزاء المزالة و فروق التواقيت الزمنية المستخدمة بين الأجزاء المزالة، تؤثر بشكل كبير على نجاح العملية و تحقيق الأمان اللازم.

وفقا لــ (Kabele, et al. 2005)، فإن استخدام فواصل زمنية، بين العناصر المزالة، تقل عن 300 ميلي ثانية غير مفيد و لا يسمح بحدوث الانهيار بالشكل المطلوب، حيث أن الزمن اللازم لبدأ المنشأ بالتحرك بعد إزالة العناصر الأولية يحتاج لــ 50 – 100 ميلي ثانية على الأقل، و حتى نصل للــ 300 ميلي ثانية فإن العناصر تبقى مترابطة و تتحمل العزوم

المنقولة بين العناصر. فالزمن الأطول يساعد على حدوث تدهور لنقاط الاتصال بين الجوائز و الأعمدة مما يعطي الزمن الكافي لتشكل المفاصل اللدنة.

لذلك فقد تم اختيار فاصل زمني بمقدار **300 ميلي ثانية** كفروقات بين إزالة كل مجموعة عناصر، حيث يوضح الجدول التالي (1.7.4) نافذة إدخال هذه الفروقات في برنامج ®ELS، حيث يظهر الزمن الواجب فيه إزالة كل مجموعة (Group) :

الجدول 1.7.4 : نافذة إدخال توقيتات الإزالة لمجموعات العناصر

Demolish/Construct Scenario Summary

#	Group	Action	Function
0	Group 1	Demolish	0.01 Sec
1	Group 2	Demolish	0.31 Sec

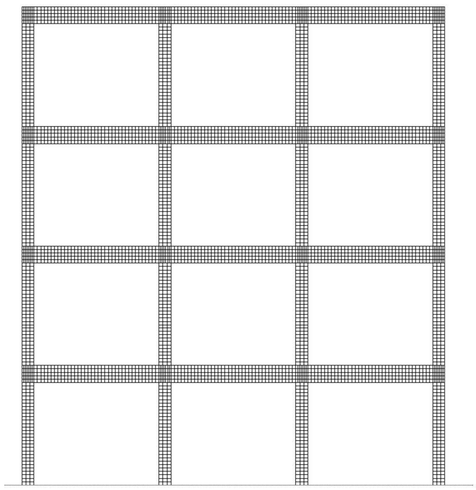
الفصل الخامس

نتائج الحساب و التحليل

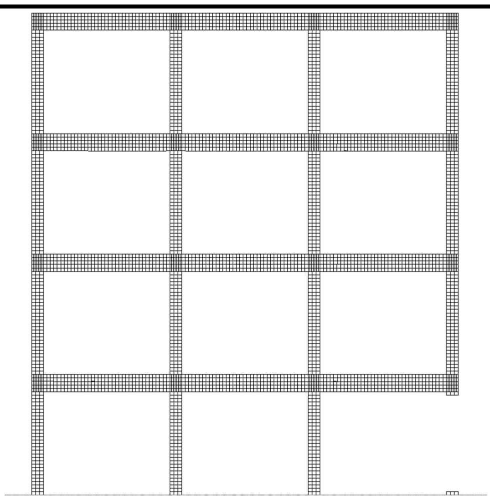
يتم تطبيق التحليل على كامل النماذج E المختارة و الموضحة في الجدول (1.4.4) أي 21 نموذج، و ذلك لكل حالة من حالات الإزالة المعرّفة (ظفرية، بشكل شطرنجي و متناوب).

1.5. الانهيار الظفري :

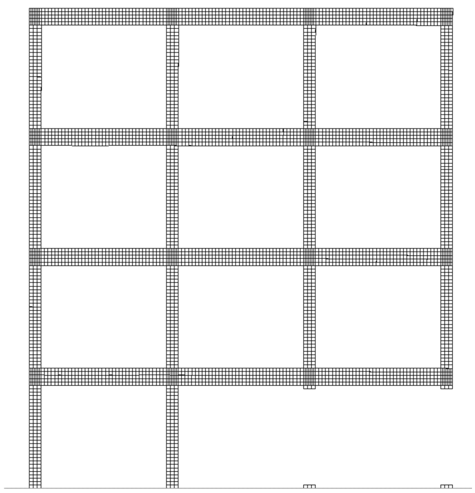
يبين الشكل التالي (1.1.5) مراحل انهيار النموذج E1 و هو النموذج المرجعي الذي تمت دراسته كحالة وضع راهن، مذكور عليها اللحظة الزمنية لكل مرحلة منها.



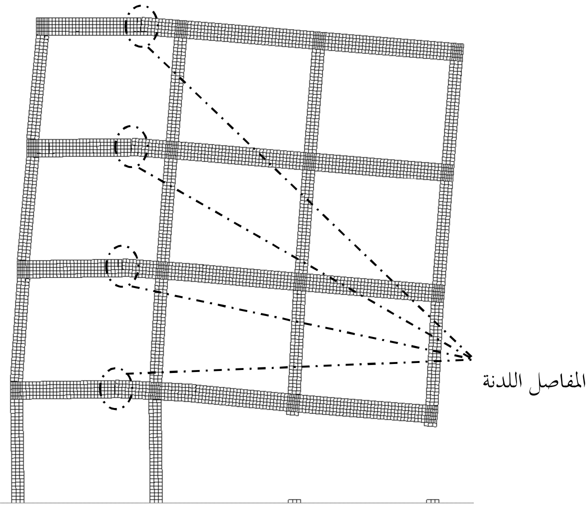
0.00 ثانية



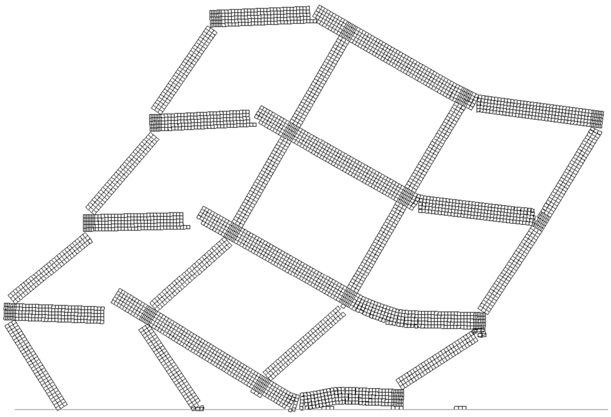
إزالة العمود الأول 0.01 ثانية



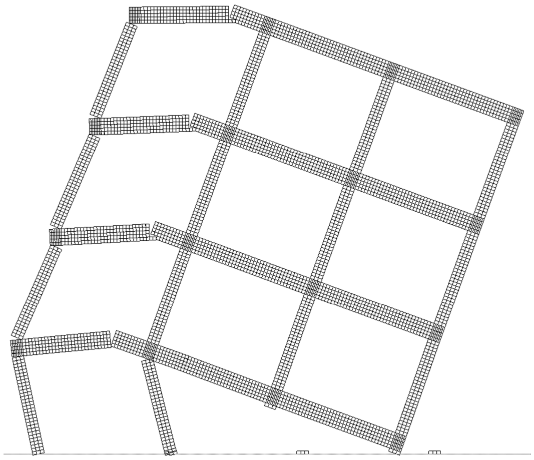
إزالة العمود الثاني 0.31 ثانية



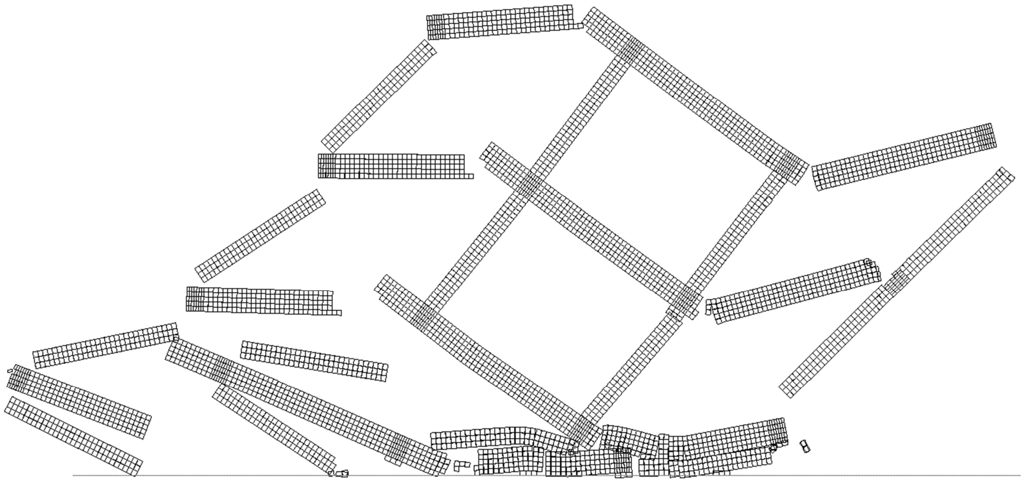
بدء تشكل المفاصل اللدنة 1.20 ثانية



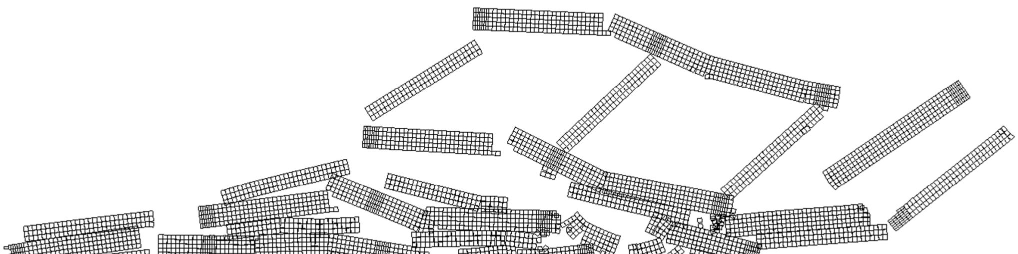
2.19 ثانية



ملامسة المنشأ للأرض لأول مرة 1.82 ثانية



2.53 ثانية



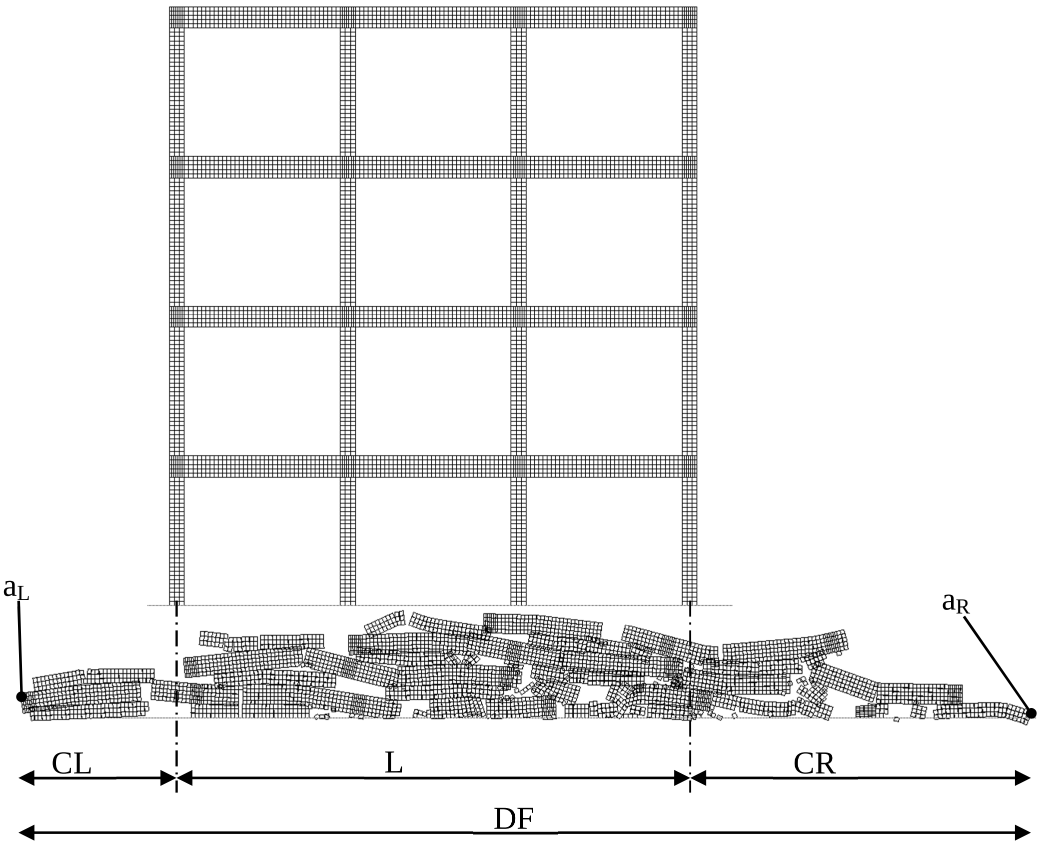
2.86 ثانية



استقرار الانهيار النهائي و الكامل 3.18 ثانية

الشكل 1.1.5 : شكل و آلية انهيار النموذج E1 بالإزالة الظفرية

يعرّف في الانهيار الظفري المتغيرات التالية بحسب الشكل (2.1.5) :



الشكل 2.1.5 : أبعاد كومة الانقاض للانهيار و المتغيرات الخاصة

DF : هو خط انتشار (أو حقل الانتشار **Debris Field**) الأنقاض الناتجة عن عملية الانهيار بعد حدوث استقرار الانهيار الكامل، و يقدر بالمسافة بين آخر قطعتين للانقاض (a_R، a_L) من طرفي المنشأ.

CR : هو المسافة الواصلة بين واجهة المنشأ و آخر قطعة أنقاض مستقرة (a_R)، بعد الاستقرار النهائي الكامل، من الطرف الذي يُرغب بحدوث الانهيار باتجاهه و التي تم إزالة الأعمدة من جهته.

CL : هو المسافة الواصلة بين واجهة المنشأ و آخر قطعة أنقاض مستقرة (a_L)، بعد الاستقرار النهائي الكامل، من الطرف **المقابل** و المعاكس للجهة التي يُرغب بحدوث الانهيار باتجاهها و التي تم إزالة الأعمدة من جهتها.

فيكون لدينا :

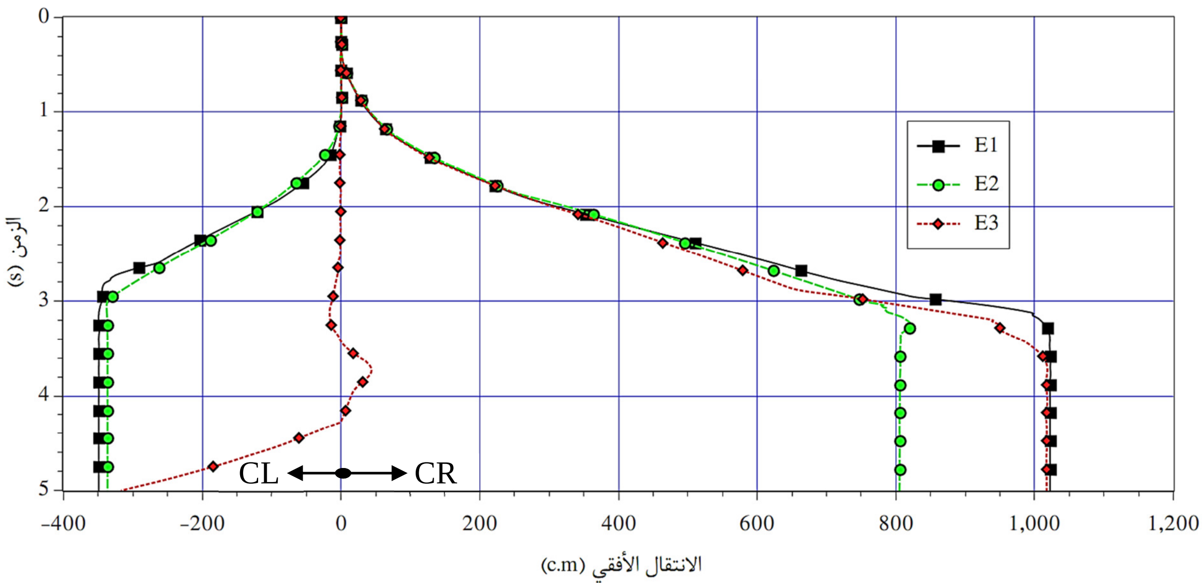
$$DF = CL + L + CR \qquad (1.5)$$

حيث أن L هو عرض المنشأ و يكون في حالة البحث

$$L = 3.b$$

يبين الشكل التالي (3.1.5) منحنيات الانتقال لقطع الأنقاض (a_R و a_L الموضحة بالشكل 2.1.5) و الممثلة لأقصى طرفي كومة الأنقاض المتشكلة من انهيار المنشأ. حيث تتم قراءة انتقال كل قطعة و حساب بعدها عن واجهة المنشأ المقابلة و ذلك للحصول على قيم CL و CR و من ثم حساب قيمة DF.

تمثل قيمة الصفر على محور الانتقال طرفي المنشأ بحيث تكون قيم CL و CR هي الموضحة في الشكل (3.1.5).
يحوي الشكل على ثلاث منحنيات تمثل النماذج E1، E2 و E3 و المعبرة عن تغير كثافة التسليح العرضي.



الشكل 3.1.5 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E1 – E2 – E3 بالانهيار الظفري

يعرض في ملحق الرسالة أشكال و مراحل الانهيار و مخططات الانتقالات لباقي النماذج E بحسب طريقة الانهيار الظفري.

لإحداث الإنهيار الكامل في حالة مجاز الإطار 3 متر للنماذج E4-E5-E6، تمت إزالة العمود الثالث الأرضي. و ذلك بسبب عدم حدوث انهيار عند إزالة عمودين فقط و بقي الإطار قائماً و تعرض لتشوهات كبيرة فقط.

بعد حساب قيم CR و CL ينتج لدينا الجدول (1.1.5) التالي الخاص بتغيرات قيم DF :

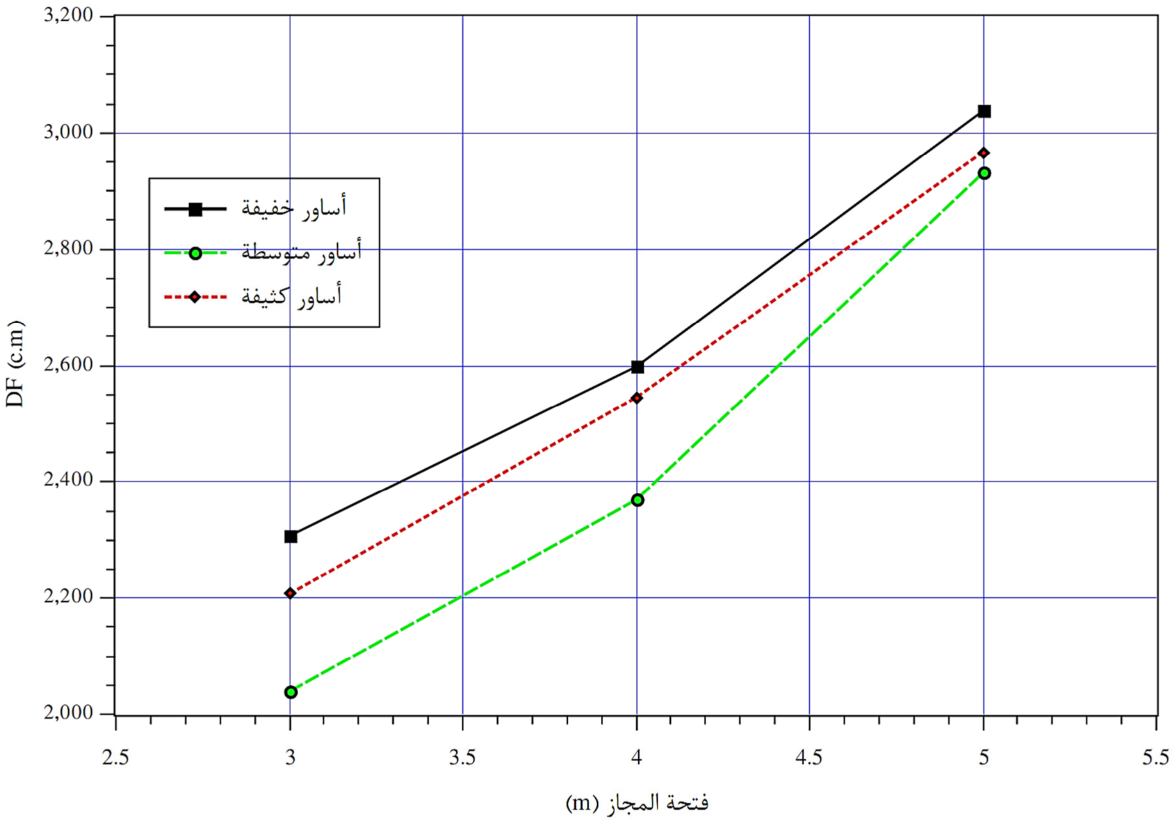
الجدول 1.1.5 : جدول تغيرات قيم خط انتشار الأنقاض DF لكل النماذج E بالانهيار الظفري

b	µ	fc`		CL (c.m)	CR (c.m)	CL / h	CR / h	DF (c.m)
4 m	100%	18 Mpa	**E1**	364	1034	1.04	2.95	2598
			E2	352	817	1.01	2.33	2369
			E3	316	1029	0.90	2.94	2545
3 m			**E4**	334	1073	0.95	3.07	2307
			E5	384	755	1.10	2.16	2039
			E6	354	953	1.01	2.72	2207
5 m			**E7**	537	1001	1.53	2.86	3038
			E8	526	905	1.50	2.59	2931
			E9	757	710	2.16	2.03	2967
4 m	70%		**E10**	542	477	1.55	1.36	2219
			E11	384	578	1.10	1.65	2162
			E12	533	580	1.52	1.66	2313
	140%		**E13**	513	982	1.47	2.81	2695
			E14	526	890	1.50	2.54	2616
			E15	556	1000	1.59	2.86	2756
	100%	12 Mpa	**E16**	466	683	1.33	1.95	2349
			E17	714	747	2.04	2.13	2661
			E18	568	965	1.62	2.76	2733
		25 Mpa	**E19**	374	1068	1.07	3.05	2642
			E20	392	987	1.12	2.82	2579
			E21	527	922	1.51	2.63	2649

h : الارتفاع الطابقي

انطلاقاً من الجدول السابق نقوم برسم المخططات التالية المعبرة عن تغييرات خط انتشار (حقل الانتشار Debris Field) الأنقاض مع فتحة المجاز و نسبة التسليح و مقاومة البيتون و لكل حالة من حالات الأساور الخفيفة و المتوسطة و الكثيفة.

1.1.5. علاقة DF مع المجاز b للإطار :



الشكل 4.1.5 : تغيرات خط انتشار الأنقاض DF مع تغير مجاز الإطار

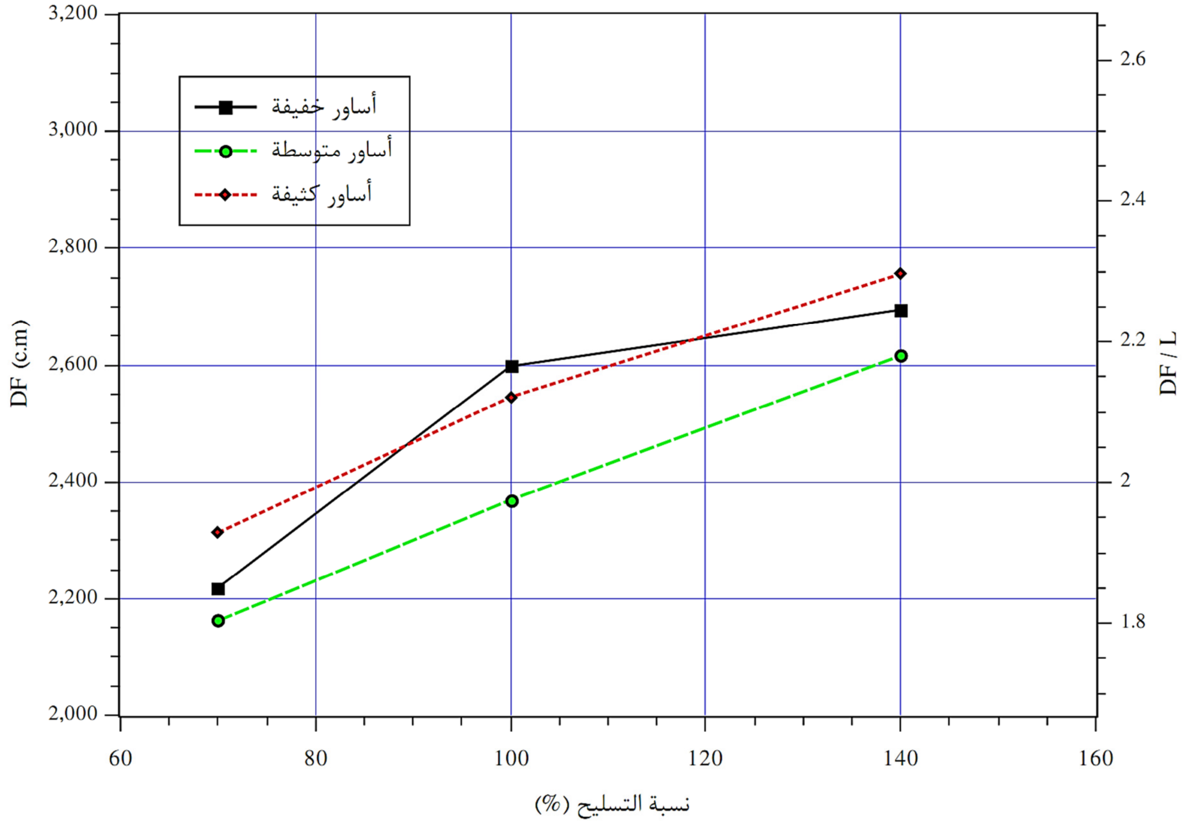
(نسبة التسليح 100%، مقاومة البيتون 18 MPa)

يلاحظ من المنحنيات السابقة ازدياد DF بزيادة المجاز و يعود هذا لزيادة L بشكل رئيسي و كذلك زيادة طول الجوائز المنهارة مما يزيد من مسافة انتشار الأنقاض و تكبير الكومة المتشكلة.

كذلك لا توجد فروقات كبير بين المنشآت المختلفة بالأساور من حيث خط انتشار الأنقاض، حيث أن أكبر فرق يلاحظ في المجاز الأصغر (3 متر) و يكون 268 سم أي 12.3% من وسطي قيم DF عند المجاز 3 متر، و يقل هذا الفرق بزيادة المجاز و يصبح بحدود 3.5% من متوسط DF للمجاز 5 متر.

كذلك يلاحظ عدم ظهور تأثير مباشر لكثافة التسليح العرضي بسبب تداخل قيم DF لكل حالة من حالات المجاز المختلفة وكون القيمة المقابلة للتكثيف المتوسط أقل من الخفيف و الكثيف.

2.1.5. علاقة DF مع نسبة التسليح μ :



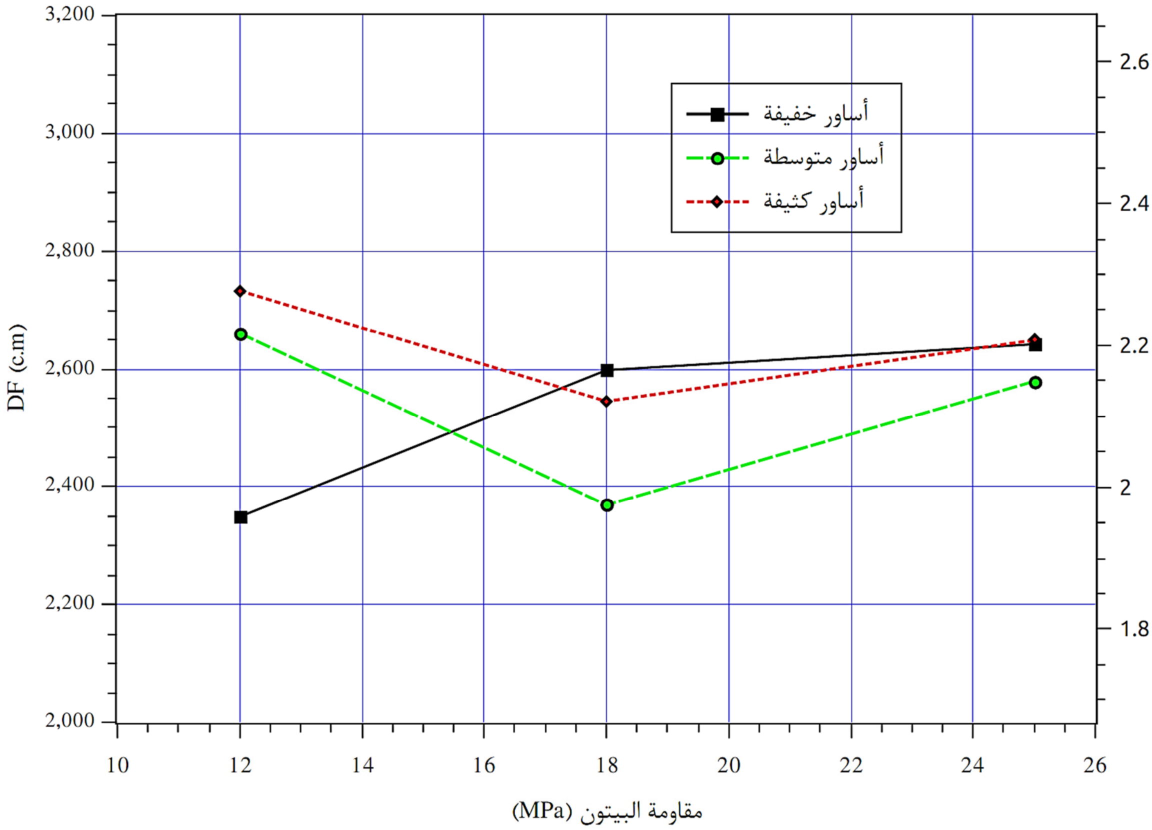
الشكل 5.1.5 : تغيرات خط انتشار الأنقاض DF مع تغير نسبة التسليح

(فتحة المجاز 4 متر، مقاومة البيتون 18 MPa)

نلاحظ من المنحنيات السابقة ازدياد DF بزيادة نسبة التسليح في كل من الجوائز و الأعمدة. حيث لوحظ من أشكال الانهيار المختلفة للمنشآت أنه بزيادة نسبة التسليح الطولي تبقى الجوائز، بشكل خاص، مستمرة و تعمل بشكل كبلي (Catenary action) و لا يحدث فيها انقطاعات أثناء تقدم عملية الانهيار مما يدفعها بعيداً عن حدود المنشأ الأصلية و ذلك يُسبب زيادة في قيمة CR بشكل خاص مما يزيد خط الانتشار و القيمة DF.

كذلك يعتبر تأثير الأساور قليلاً و ليس له أثر مباشر و ذلك لتداخل قيم DF الخاصة بكل حالة من حالات تكثيف الأساور، و لا تزيد الفروقات لكل الحالات عن 9% من وسطي قيم DF عند كل قيمة من قيم التسليح الطولي.

3.1.5. علاقة DF مع مقاومة البيتون f_c` :



الشكل 6.1.5 : تغيرات خط انتشار الأنقاض مع تغير مقاومة البيتون

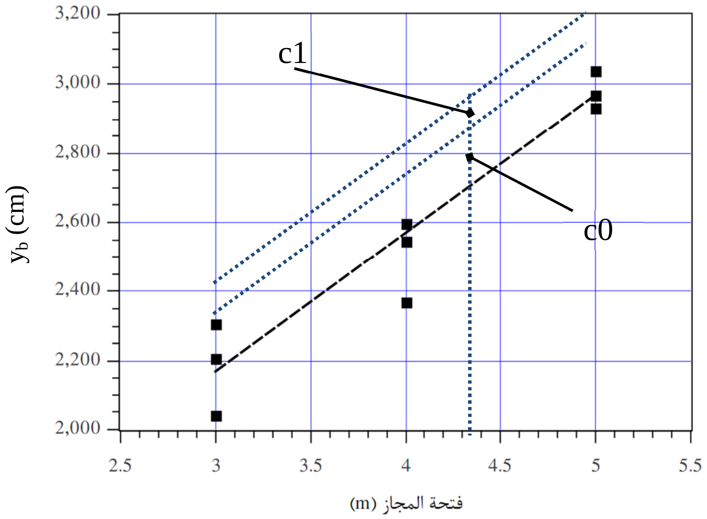
(فتحة المجاز 4 متر، نسبة التسليح 100%)

إن تأثير التسليح العرضي (الأساور) يظهر بشكل واضح في حالة تغير مقاومة البيتون. فعندما تكون المقاومة صغير فإن التسليح العرضي يعمل كتطويق للمقطع البيتون مما يجعل الجوائز أكثر تماسكاً و يبقي القطع بحجمها الكبير أثناء عملية الانهيار مما يدفعها لمسافة أبعد و يزيد قيمة DF، و بالمقابل قلة التسليح العرضي تسبب في تفتت المقاطع البيتونية و انهيارها بشكل قريب لحدود المنشأ مما يقلل من قيمة DF. يقل هذا التأثير كلما ازدادت مقاومة البيتون كما هو موضح على المخططات و ذلك لزيادة مساهمة البيتون في تحمل قوى القص بالاشتراك مع مساهمة التسليح العرضي.

لذلك فإن تأثير البيتون على خط انتشار الأنقاض يعتمد بشكل أساسي على تسليح القص، فعندما يكون البيتون ضعيفاً تكون مساهمة تسليح القص هي الأساسية و الواضحة، و يقل اعتماد البيتون على تسليح القص بزيادة مقاومته.

4.1.5. العلاقة التقريبية المقترحة لحساب DF :

نقوم برسم الخط المقارب (الممثل للنقاط) على كل مخطط من المخططات السابقة و لكل حالة من الحالات و نوجد معادلة هذا المستقيم المقارب لكل حالة كما توضح الأشكال التالية :

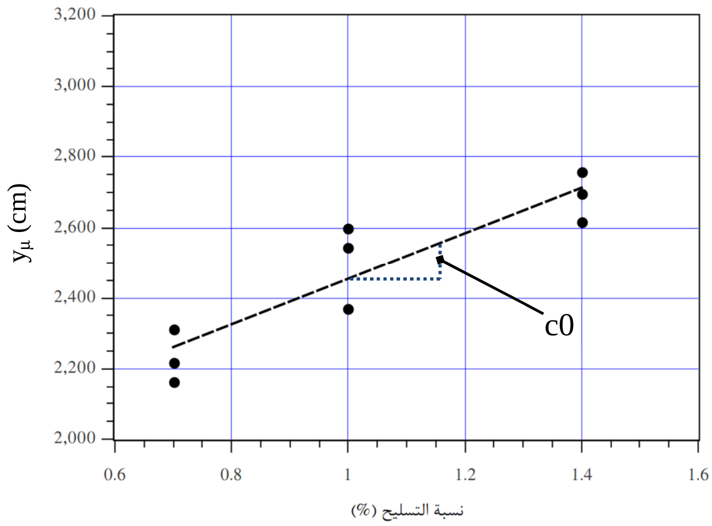


الشكل 7.1.5 : المستقيم المقارب للعلاقة بين DF و فتحة المجاز

c0 : فرق الترتيب الناتج عن اختلاف نسبة التسليح الطولي و المأخوذة من المستقيم المقارب للعلاقة بين DF و نسبة التسليح الطولي.

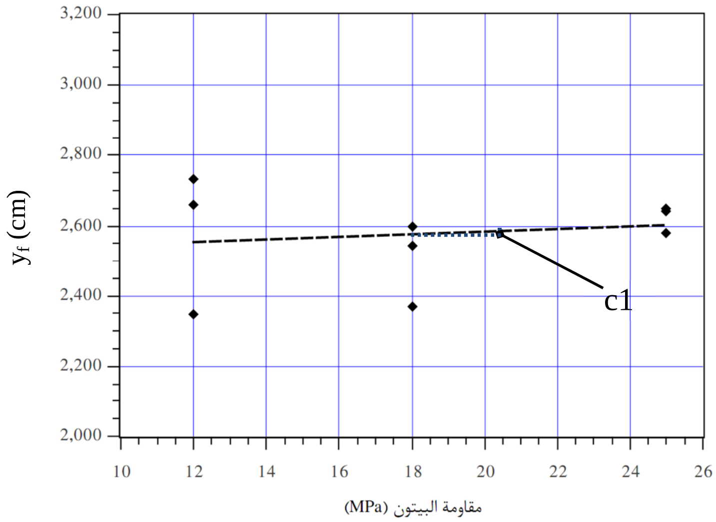
c1 : فرق الترتيب الناتج عن اختلاف مقاومة البيتون و المأخوذة من المستقيم المقارب للعلاقة بين DF و مقاومة البيتون.

بحساب معامل الارتباط يكون R = 0.96 قريب من 1، و تكون معادلة المستقيم المقارب $y_b = 400.b + 970$



الشكل 8.1.5 : المستقيم المقارب للعلاقة بين DF و نسبة التسليح الطولي

R = 0.91 و تكون معادلة المستقيم المقارب : $y_\mu = 645.\mu + 1810$



الشكل 9.1.5 : المستقيم المقارب للعلاقة بين DF و مقاومة البيتون

معادلة المستقيم المقارب : $y_f = 3.7.f_c + 2510$

نحسب قيمة DF^* من العلاقة التالية : $DF^* = y_b +(-c0) +(-c1)$

حيث ان :

$$c0 = y_\mu(1) - y_\mu = 645*1 + 1810 - (645*\mu + 1810) = 645 - 645\mu$$

$$c1 = y_f(18) - y_f = 3.7*18 + 2510 - (3.7*f_c + 2510) = 66.6 - 3.7\ f_c$$

$$\Rightarrow \quad DF^* = 400*b + 970 - (645 - 645\mu) - (66.6 - 3.7\ f_c)$$

$$\Rightarrow \quad DF^* = 400b + 645\mu + 3.7f_c + 258.4 \qquad (2.5)$$

يوضح الجدول (2.1.5) مقارنة بين قيم DF الفعلية و الناتجة عن التحليل و القيم المستنتجة من المعادلة (2.5)، حيث أن:

DF : القيمة الفعلية من التحليل، DF^* : القيمة الناتجة عن المعادلة (2.5)،

DF_U : القيمة النهائية العظمى لخط الانتشار و المحققة للأمان

يلاحظ في الجدول ظهور قيم سالبة للفروقات بين DF^* و DF الفعلية و ذلك بسبب أن المستقيمات المقاربة السابقة كانت تأخذ قيم أقل في بعض الحالات من القيم الفعلية. و للتخلص من هذه القيم السالبة لصالح الأمان و الحصول على قيم لخط الانتشار لا تقل عن القيم الناتجة عن النماذج المدروسة، تُصعّد المعادلة (2.5) بمقدار أكبر قيمة سالبة للفروقات الظاهرة في الجدول و هي 6.8%، ثم ندور القيم لأقرب عشرة بالاتجاه الموجب فنحصل على المعادلة (3.5) التالية :

$$DF_U = 430.b + 700.\mu + 4.f_c + 280 \qquad (3.5)$$

حيث أن : b : مجازة فتحة الإطار بالمتر، للمجال المدروس [3,4]

μ : نسبة التسليح الطولي تأخذ بالنسبة المئوية، للمجال المدروس [0.6,1.5]

f_c : مقاومة البيتون و تأخذ بالـــ MPa، للمجال المدروس [12,25]

الجدول 2.1.5 : جدول مقارنة و تصحيح قيم DF (c.m)

b	μ	fc`		DF	DF*	(DF*-DF)/DF	DFU	(DFU-DF)/DF
4 m	100%	18 Mpa	**E1**	2598	2570	-1.1%	2772	6.7%
			E2	2369	2570	8.5%	2772	17.0%
			E3	2545	2570	1.0%	2772	8.9%
3 m			**E4**	2307	2170	-5.9%	2342	1.5%
			E5	2039	2170	6.4%	2342	14.9%
			E6	2207	2170	-1.7%	2342	6.1%
5 m			**E7**	3038	2970	-2.2%	3202	5.4%
			E8	2931	2970	1.3%	3202	9.2%
			E9	2967	2970	0.1%	3202	7.9%
4 m	70%		**E10**	2219	2376.5	7.1%	2562	15.5%
			E11	2162	2376.5	9.9%	2562	18.5%
			E12	2313	2376.5	2.7%	2562	10.8%
	140%		**E13**	2695	2828	4.9%	3052	13.2%
			E14	2616	2828	8.1%	3052	16.7%
			E15	2756	2828	2.6%	3052	10.7%
	100%	12 Mpa	**E16**	2349	2547.8	8.5%	2748	17.0%
			E17	2661	2547.8	-4.3%	2748	3.3%
			E18	2733	2547.8	-6.8%	2748	0.5%
		25 Mpa	**E19**	2642	2595.9	-1.7%	2800	6.0%
			E20	2579	2595.9	0.7%	2800	8.6%
			E21	2649	2595.9	-2.0%	2800	5.7%

2.5. الانهيار الظفري التام :

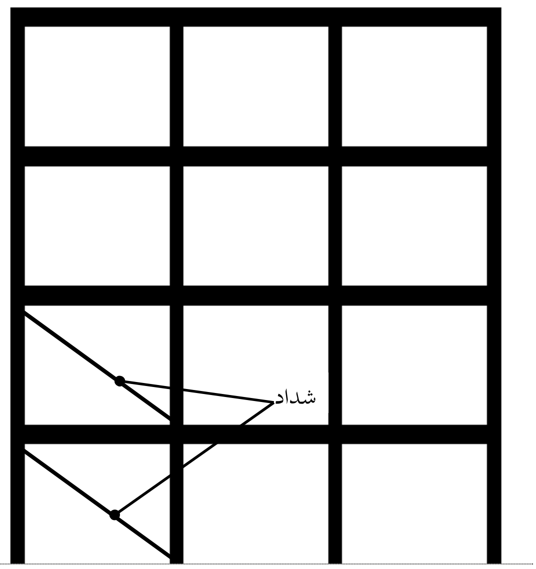
أظهرت نتائج تحليل كافة النماذج المختارة تشكل كومة الانقاض على طرفي المنشأ عند تنفيذ الانهيار الظفري العادي، و لكن نحتاج في كثير من الحالات أن يحدث الانهيار لجهة واحدة من المنشأ، و ذلك إما لوجود منشآت مجاورة أو وجود مرافق خدمية أو مجاري مياه أو تمديدات كهربائية و اتصالات أو غيرها.

في هذه الحالات يجب أن نحصل على $CL = 0$

و أن تصبح $DF = L + CR$

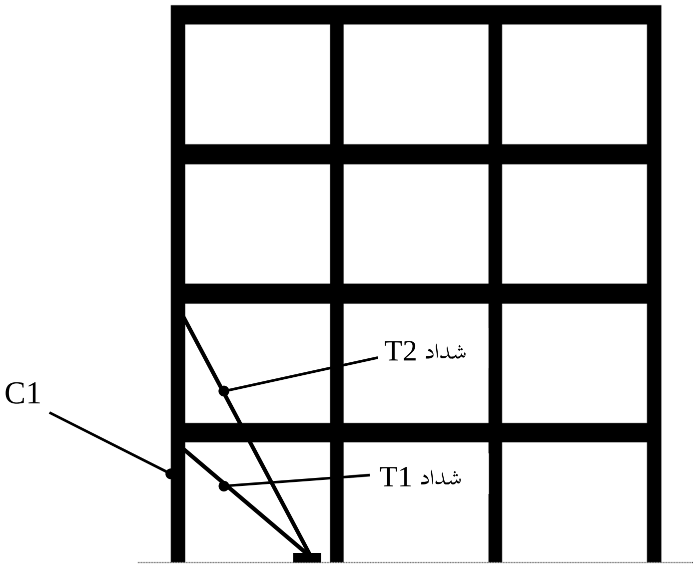
و للحصول على هذه النتيجة لا بد من وضع شدادات تقوم بسحب المنشأ أثناء الانهيار للجهة المراد توجيه الأنقاض لها. كما أنه نتيجة للدراسة السابقة للانهيار الظفري العادي فقد وجد أنه لا بد من إجراء التربيط لطابقين على الأقل بسبب حدوث انهيار لها بالاتجاه المعاكس أي أن CL و صلت في بعض الحالات لــ 2h.

تم إجراء التحليل بوضع الشدادات كما هو موضح بالشكل (1.2.5)، و ذلك بربط رأس العمود الطرفي في الطابقين الأول و الثاني بقاعدة العامود المجاور الوسطي. و لكن لم تنجح هذه الطريقة بالربط بمنع تشكل للأنقاض للجهة اليسارية و ذلك بسبب حدوث انهيار للأعمدة و الجوائز الوسطية مما جعل الأعمدة الطرفية حرة الحركة و دفعها في بعض الحالات للسقوط و الانهيار بالشكل الغير مطلوب أي للجهة اليسارية مما جعل $CL > 0$.



الشكل 1.2.5 : طريقة التربيط الأولى بالشدادات للانهيار الظفري التام – غير ناجحة

مما أوجب إجراء التربيط من رؤوس الأعمدة لنقطة ثابتة لا تتأثر أثناء الانهيار و يجعل الأعمدة مشدودة دائما بالاتجاه المرغوب، فكان لا بد من التربيط مع الأرض كما هو موضح بالشكل التالي (2.2.5) :



الشكل 2.2.5 : طريقة التربيط الثانية بالشدادات التي تم إجراء الدراسة عليها للانهيار الظفري التام

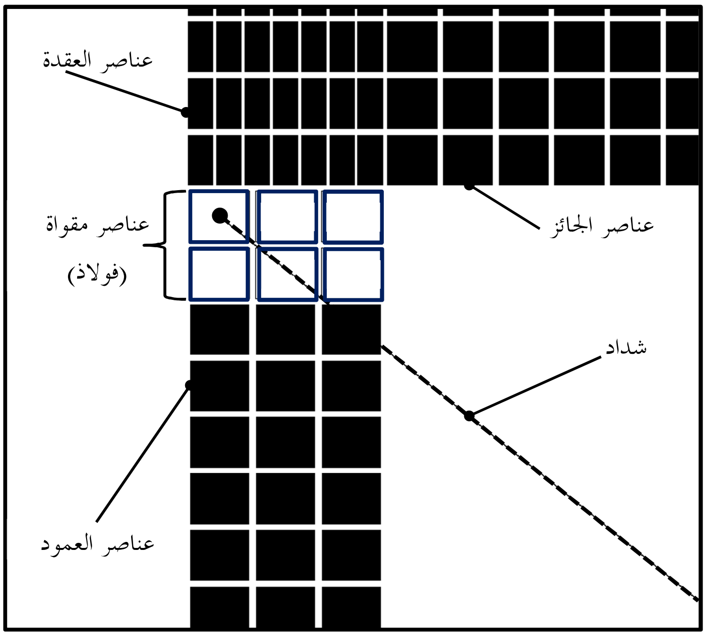
إن الشدادات المذكورة هي عناصر تتحمل الشد فقط و يتم تمثيلها في برنامج ®ELS عن طريق عناصر ربط تسمى (Link Member) تأخذ المواصفات الموضحة في الجدول (1.2.5)، هذه العناصر تمثل نابض له هذه المواصفات و يربط بين عنصرين تطبيقيين منتهيين بحيث يشدهما لبعضهما :

الجدول 1.2.5 : مواصفات الشدادات المستخدمة في التحليل (Link Member)

قطر	25.4	mm
مقاومة الانقطاع f_U	620	MPa
معامل يونغ E	200,000	MPa
الوزن النوعي	7.84	t/m^3
معامل التشوه النسبي للانفصال (Separation Strain)	0.1	--

كذلك لا بد من تقوية رؤوس الأعمدة لمنع حدوث انفصال بعض الأجزاء عن العمود بسبب إنهيارها تحت قوة الشد المطبقة من الشداد مما يسبب تحرر العمود و احتمال سقوطه بالاتجاه الخاطئ بسبب دفعه من الأنقاض الناتجة عن بقية المنشأ. يمكن تنفيذ هذا بالمشاريع العملية عن طريق تدعيم رأس العمود بصفائح معدنية تطوق المنطقة المراد تقويتها و يتم ربط الشداد بهذه الصفائح.

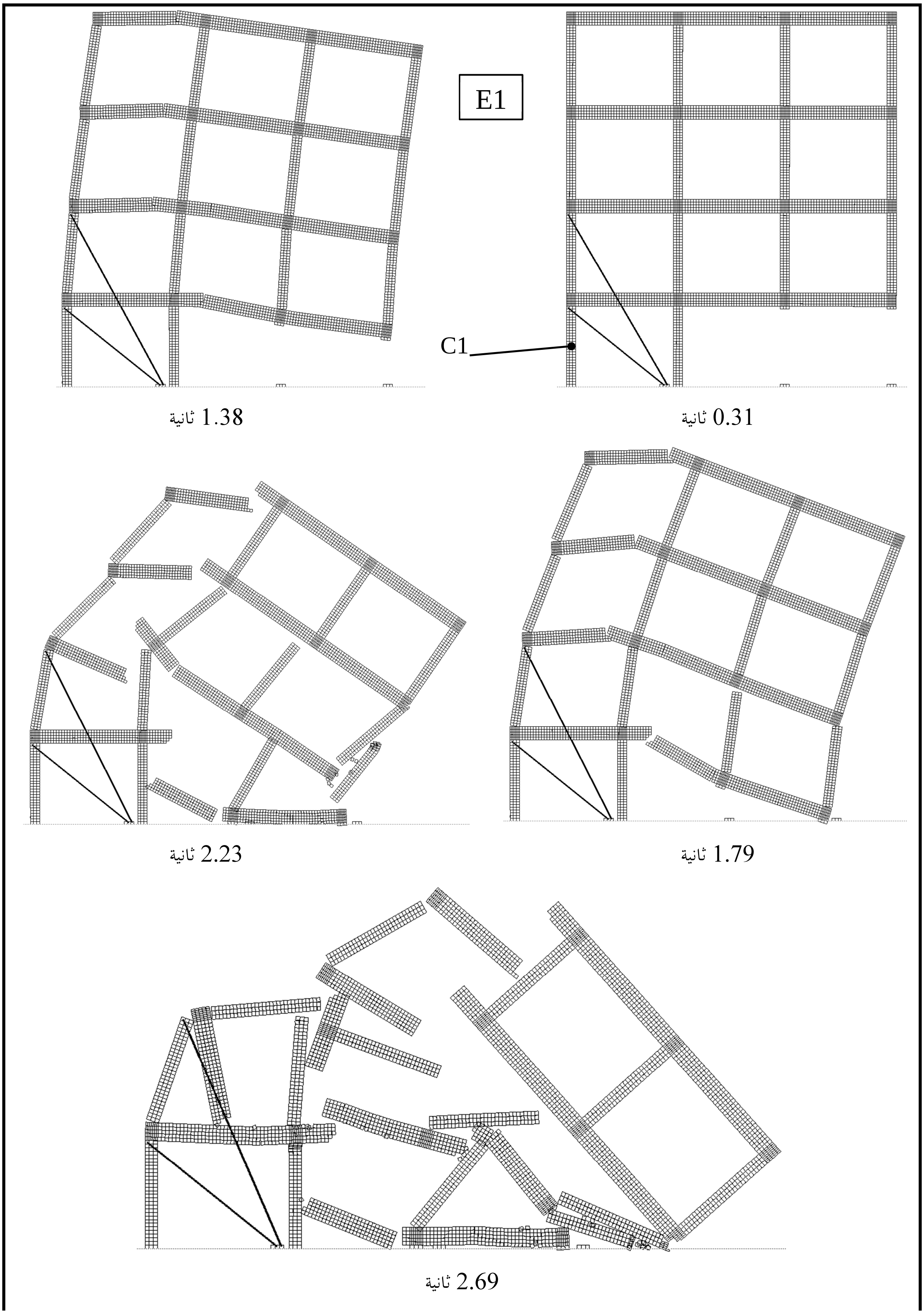
نمذجت هذه الطريقة بتغير مادة العناصر المنتهية التطبيقية للصفين الأولين من رأس العامود لتصبح فولاذاً بدلا عن البيتون المسلح، بحيث يكون هذا الفولاذ بنفس مواصفات فولاذ التسليح المستخدم مع البيتون، و ربط الشداد مع العنصر الطرفي لها كما هو موضح بالشكل (3.2.5) :

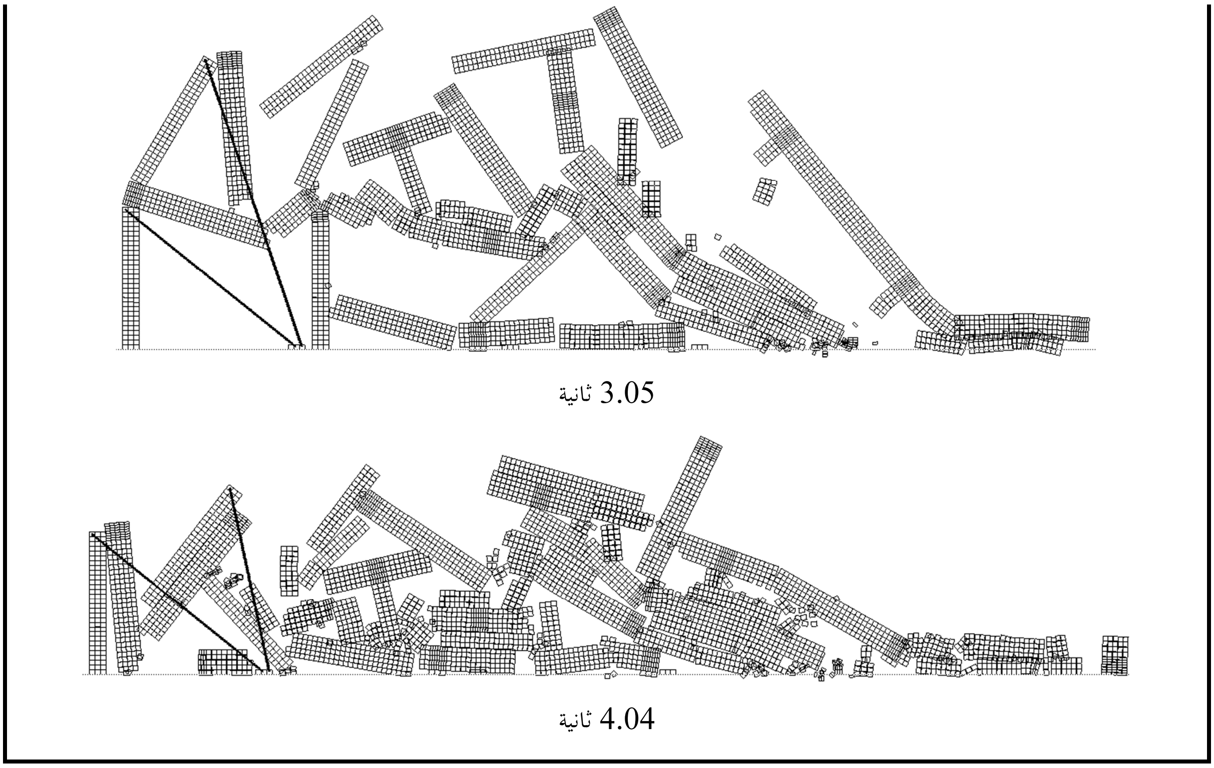


الشكل 3.2.5 : طريقة تقوية رأس العمود و تربيط الشداد

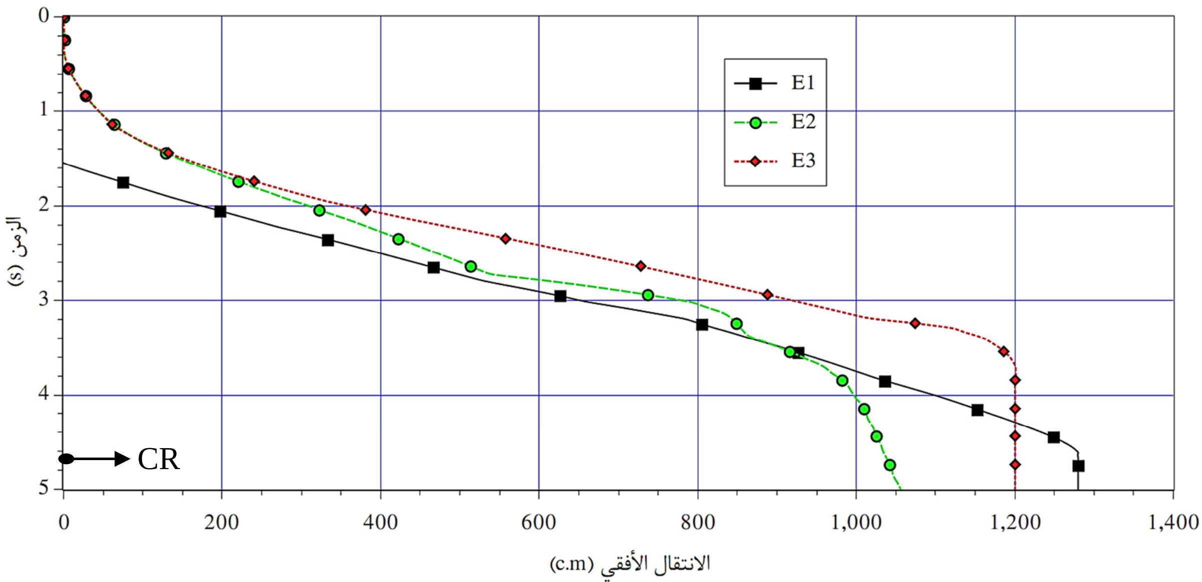
يظهر الشكل (4.2.5) مراحل و شكل الانهيار الناتج للنموذج E1 مع وجود شدادات، كما يظهر الشكل (5.2.5) مخططات الانتقال لحساب CR للنماذج E1، E2 و E3 المختلفة فيما بينها بتسليح القص.

كذلك يبين الشكل (6.2.5) القوة المحورية الناتجة في العمود C1 (المبين في الشكل (4.2.5))، للنماذج E1، E2 و E3، و المربوط مع الشداد T1 الذي يبين الشكل (7.2.5) قوة الشد الناتجة فيه، و كذللك الشكل (8.2.5) الذي يظهر قوة الشد للشداد الثانوي T2. كما تُعرض باقي النتائج و المخططات للنماذج E في ملحق الدراسة.

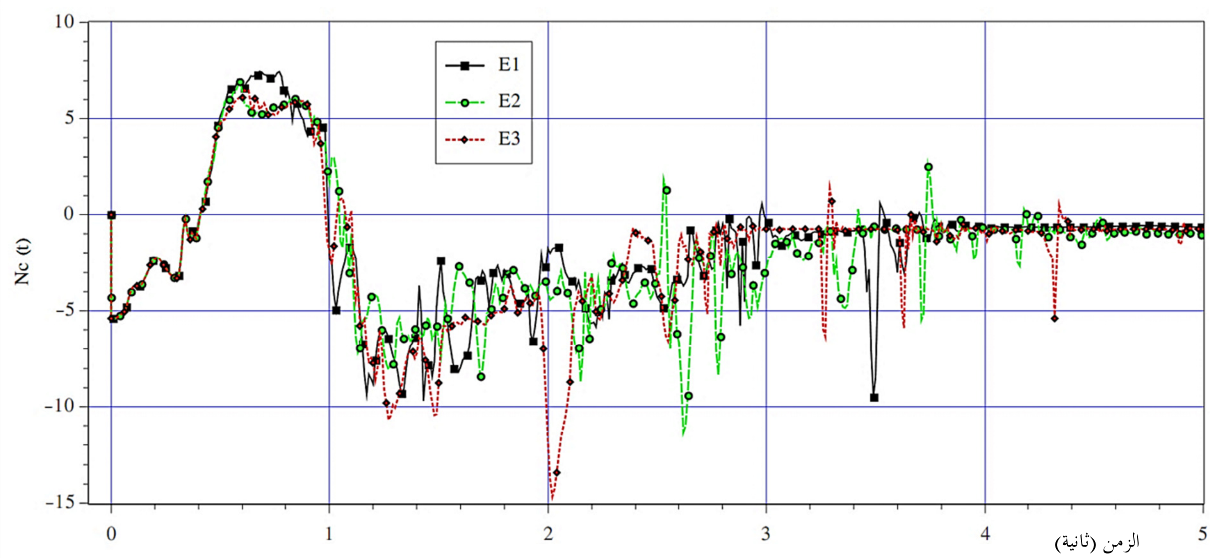

E1
C1
ثانية 0.31
ثانية 1.38
ثانية 1.79
ثانية 2.23
ثانية 2.69



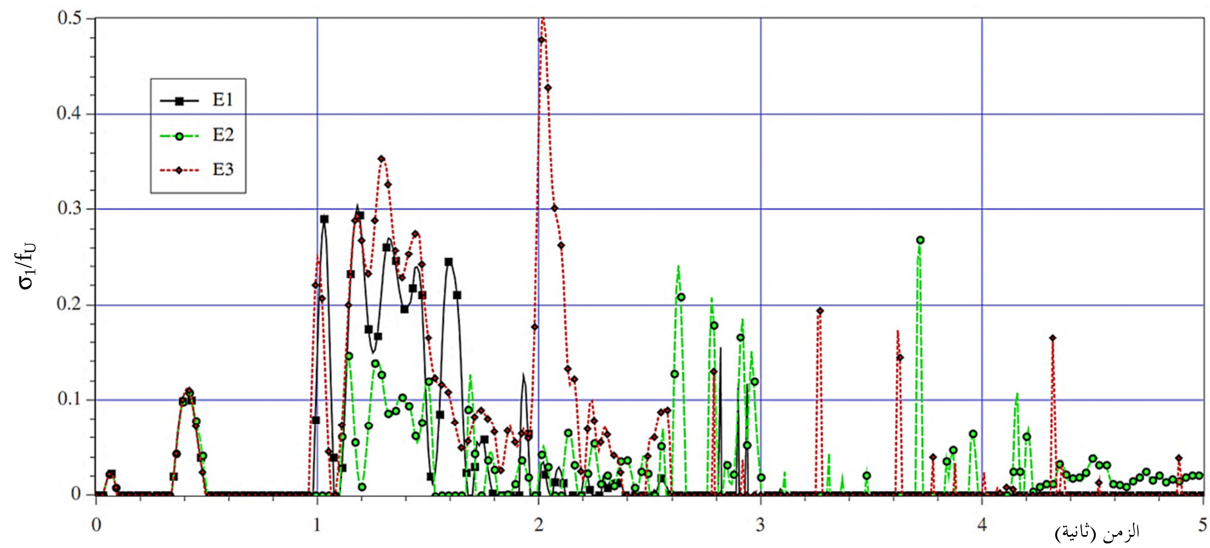
الشكل 4.2.5 : شكل و آلية انهيار النموذج E1 مع شدادات



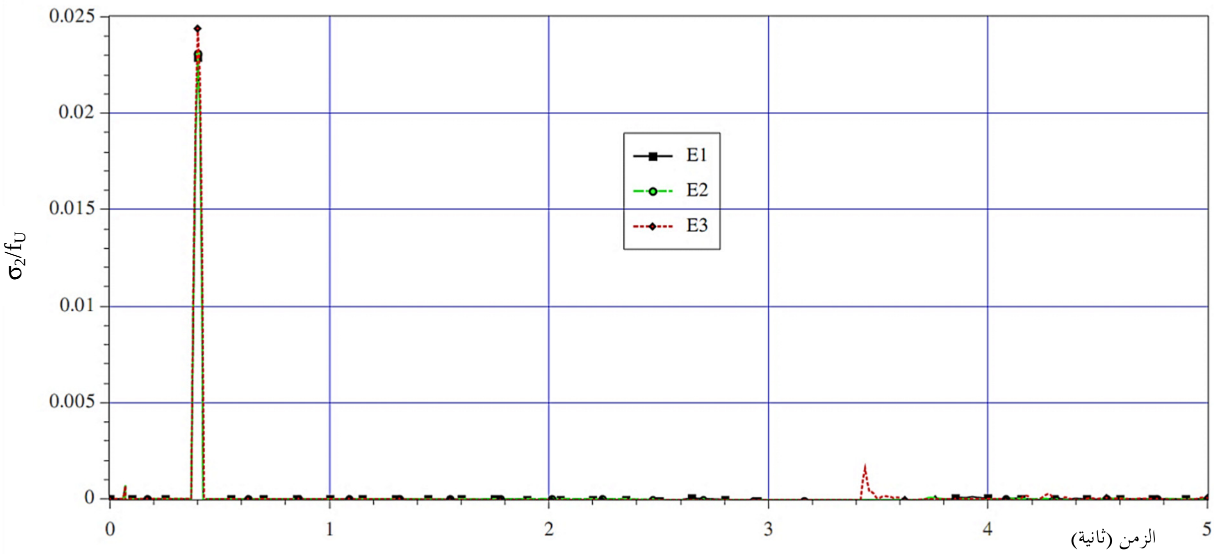
الشكل 5.2.5 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E1 – E2 – E3 مع شدادات



الشكل 6.2.5 : مخطط تغيرات القوة المحورية في العمود C1 للنماذج E3 – E2 – E1 مع شدادات



الشكل 7.2.5 : مخطط تغيرات قوة الشد في الشداد T1 للنماذج E3 – E2 – E1 مع شدادات



الشكل 8.2.5 : مخطط تغيرات قوة الشد في الشداد T2 للنماذج E3 – E2 – E1 مع شدادات

يبين الجدول (2.2.5) قيم DF لكل نموذج من النماذج E مع إضافة الشدادات، كذلك يظهر على الجدول القيم العظمى للقوة المحورية Nc الناتجة في العمود C1 (المبين بالشكل (4.2.5)) المربوط بالشداد T1 و قوة الشد العظمى الناتجة فيه :

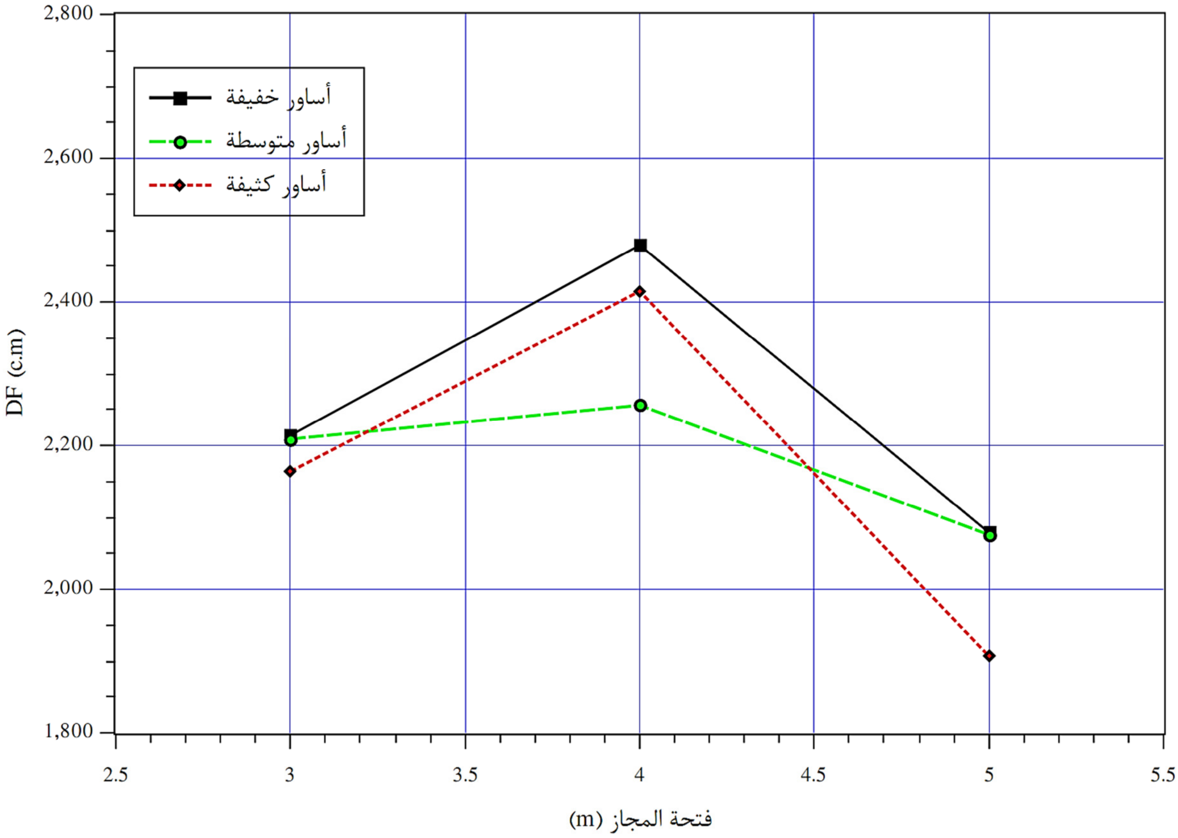
الجدول 2.2.5 : جدول تغيرات قيم خط انتشار الأنقاض DF لكل النماذج E مع الشدادات

b	μ	fc`		CL	CR (cm)	DF (cm)	Nc (t)	T1 (t)
4 m	100%	18 Mpa	**E1**	0	1279	2479	9.7	9.6
			E2	0	1056	2256	11.3	8.5
			E3	0	1215	2415	14.7	16.0
3 m			**E4**	0	1314	2214	32.3	24.2
			E5	0	1309	2209	33.0	24.9
			E6	0	1264	2164	32.7	24.5
5 m			**E7**	0	579	2079	18.0	17.5
			E8	0	576	2076	10.4	6.9
			E9	0	407	1907	28.7	13.5
4 m	70%		**E10**	0	713	1913	17.1	15.5
			E11	0	700	1900	24.7	11.3
			E12	0	779	1979	15.2	11.3
	140%		**E13**	0	1439	2639	11.3	12.1
			E14	0	1361	2561	12.0	13.3
			E15	0	1521	2721	17.7	16.8
	100%	12 Mpa	**E16**	0	767	1967	23.3	12.3
			E17	0	1027	2227	27.8	18.7
			E18	0	942	2142	17.5	9.9
		25 Mpa	**E19**	0	718	1918	20.3	13.6
			E20	0	701	1901	22.1	15.9
			E21	0	963	2163	16.7	13.4

يلاحظ من الجدول انخفاض قيم DF بشكل ملحوظ عن القيم الناتجة عن نماذج الانهيار الظفري العادي، السبب الرئيسي لذلك هو تقييد انتشار الأنقاض بسبب منع حدوث انهيار للجهة اليسرى و تشكيل حاجز من العمود المربوط بالشداد مما جعل كومة الأنقاض ذات أبعاد أقل.

و انطلاقاً من الجدول السابق، و كحالات الانهيار الظفري العادي، نرسم المخططات المعبرة عن تغيرات خط انتشار الأنقاض مع فتحة المجاز و نسبة التسليح و مقاومة البيتون و لكل حالة من حالات الأساور الخفيفة و المتوسطة و الكثيفة.

1.2.5. علاقة DF مع فتحة المجاز b :



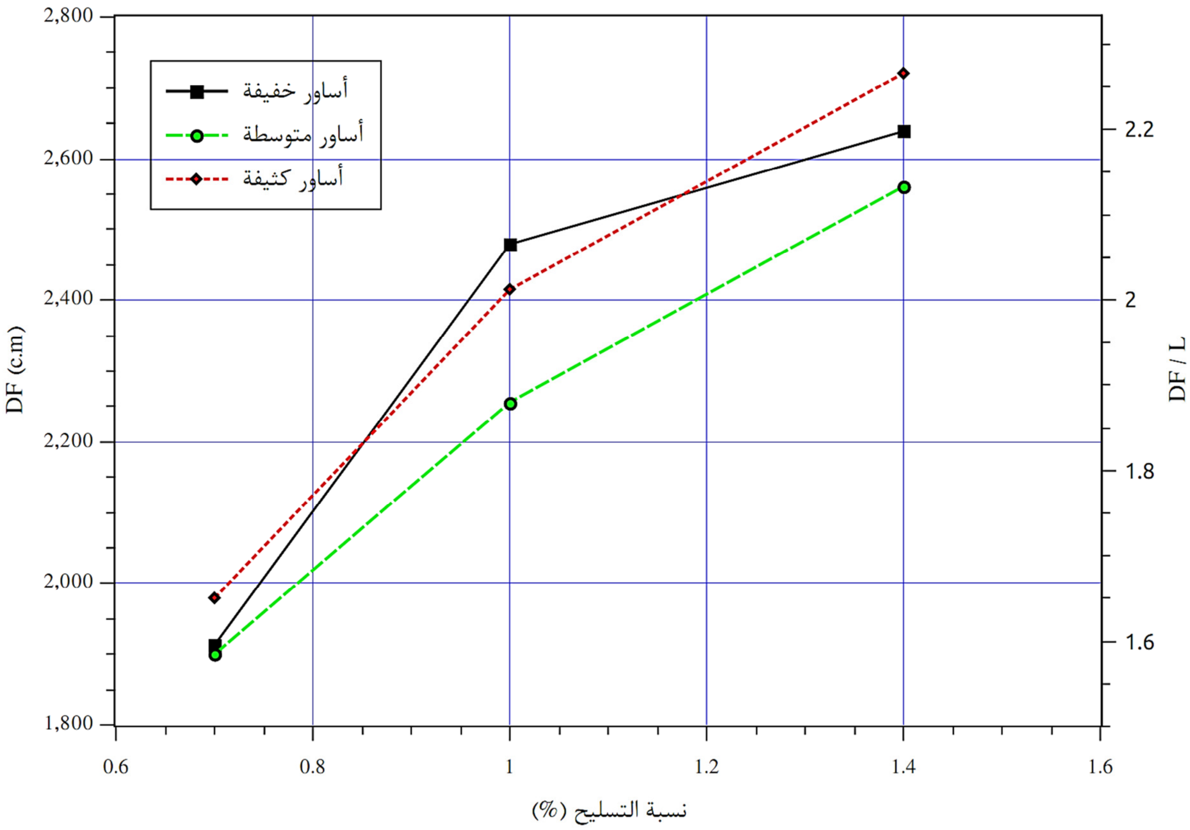
الشكل 9.2.5 : تغيرات خط انتشار الأنقاض DF مع تغير فتحة مجاز الإطار – بوجود شدادات

(نسبة التسليح 100%، مقاومة البيتون 18 MPa)

إن التأثير المحدود لكثافة تسليح الأساور يبقى واضحاً في حالة الانهيار الظفري التام مع وجود الشدادات، حيث يلاحظ التداخلات بين المخططات الخاصة بكل حالة من حالات التسليح العرضي، و عدم وجود فروقات كبيرة بين القيم لكل مجاز من المجازات المدروسة، حيث لا يزيد هذه الفرق عن 9% من وسطي قيمة DF عند كل قيمة من قيم المجاز.

إن سبب عدم ازدياد قيمة DF كما هو واضح في الشكل للمجازات الكبيرة كما في حالة الانهيار الظفري العادي، هو انهيار الجوائز بشكل قريب و في موقعها تقريباً مما سبب بتشكل كومة أنقاض غير منتشرة بالاتجاه الأفقي (X) و لكن ذات ارتفاع كبير نسبياً وصل لطابق و نصف كما يتضح ذلك باشكال الانهيار.

2.2.5. علاقة DF مع نسبة التسليح μ :



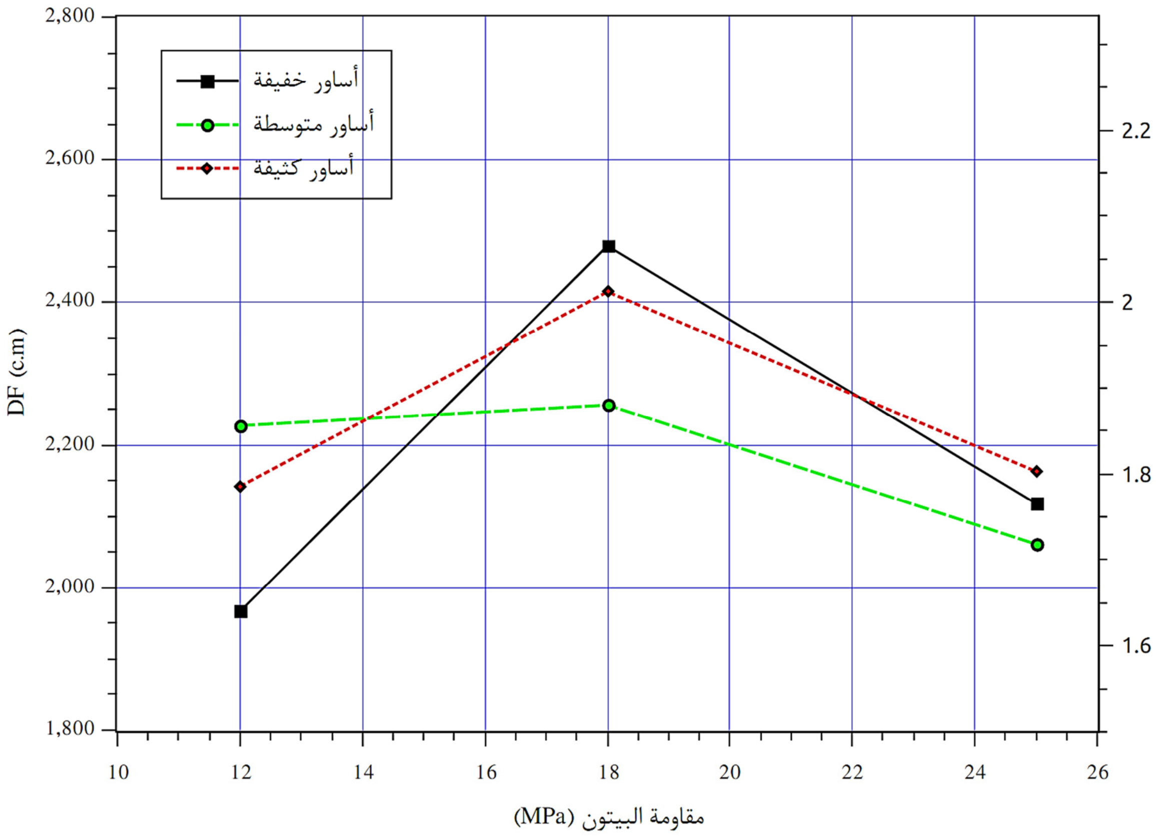
الشكل 10.2.5 : تغيرات خط انتشار الأنقاض DF مع تغير نسبة التسليح – بوجود شدادات

(فتحة المجاز 4 متر، مقاومة البيتون 18 MPa)

نلاحظ من المنحنيات السابقة ازدياد DF بزيادة نسبة التسليح في كل من الجوائز و الأعمدة، و ذلك كما في حالات الانهيار الظفري العادي، حيث لوحظ من أشكال الانهيار المختلفة للمنشآت أنه بزيادة نسبة التسليح الطولي تبقى الجوائز بشكل خاص مستمرة و لا يحدث فيها انقطاعات أثناء تقدم عملية الانهيار مما يدفعها بعيداً عن حدود المنشأ الأصلية و ذلك يسبب ذيادة في قيمة CR، و في عدة حالات أكثر من قيمة CR الناتجة من الانهيار الظفري العادي، مما يزيد خط الانتشار و القيمة DF.

كذلك يعتبر تأثير الأساور قليلاً و ليس له أثر مباشر كمجمل الحالات المدروسة و ذلك لتداخل المنحنيات الخاصة بكل حالة من حالات تكثيف الأساور و لا تزيد الفروقات لكل الحالات عن 9% من وسطي المجازات، حيث تعتبر العلاقة بين DF و نسبة التسليح الطولي منتظمة و لم تتغير بين نوعي الانهيار الظفري العادي و التام.

3.2.5. علاقة DF مع مقاومة البيتون f_c` :



الشكل 11.2.5 : تغيرات خط انتشار الأنقاض DF مع تغير مقاومة البيتون – بوجود شدادات

(فتحة المجاز 4 متر، نسبة التسليح 100%)

4.2.5. التصميم التقريبي المقترح للشدادات :

يلاحظ من الجدول (2.2.5) أن قيم قوة الشد التي يخضع لها الشداد T1 صغيرة نسبياً مقارنة مع مقاومة العمود N_u التي نستطيع حسابها من علاقة الكود السوري [1] :

$$N_u = 0.8.\Omega.(0.85.f_c`.A_c`+f_y.A_s`)$$

بأخذ الجدول (3.2.5) الذي يظهر عليه المقاومة المحسوبة للعمود C1 بحسب تغيرات نسبة التسليح و مقاومة البيتون و الحمولة الفعلية التي يخضع لها العمود (N_c, N_u) و قوة الشد الفعلية في الشداد T1 نجد :

الجدول 3.2.5 : جدول تغيرات القوى في العمود C1 و الشداد T1 لكل النماذج E

b	μ	fc`		Nc (t)	Nu (t)	T1 (t)	T1 / Nu
4 m	100%	18 Mpa	**E1**	9.7	87.4	9.6	0.11
			E2	11.3	87.4	8.5	0.10
			E3	14.7	87.4	16.0	0.18
3 m			**E4**	32.3	87.4	24.2	0.28
			E5	33.0	87.4	24.9	0.29
			E6	32.7	87.4	24.5	0.28
5 m			**E7**	18.0	87.4	17.5	0.20
			E8	10.4	87.4	6.9	0.08
			E9	28.7	87.4	13.5	0.15
4 m	70%		**E10**	17.1	83.25	15.5	0.19
			E11	24.7	83.25	11.3	0.14
			E12	15.2	83.25	11.3	0.14
	140%		**E13**	11.3	91.18	12.1	0.13
			E14	12.0	91.18	13.3	0.15
			E15	17.7	91.18	16.8	0.18
	100%	12 Mpa	**E16**	23.3	62.4	12.3	0.20
			E17	27.8	62.4	18.7	0.31
			E18	17.5	62.4	9.9	0.16
		25 Mpa	**E19**	20.3	116.54	13.6	0.12
			E20	22.1	116.54	15.9	0.14
			E21	16.7	116.54	13.4	0.11

و بحساب النسبة T1 / Nu يمكن لنا أن نقدر القوة التصميمية التقريبية التي يمكن تصميم الشداد عليها بـــ :

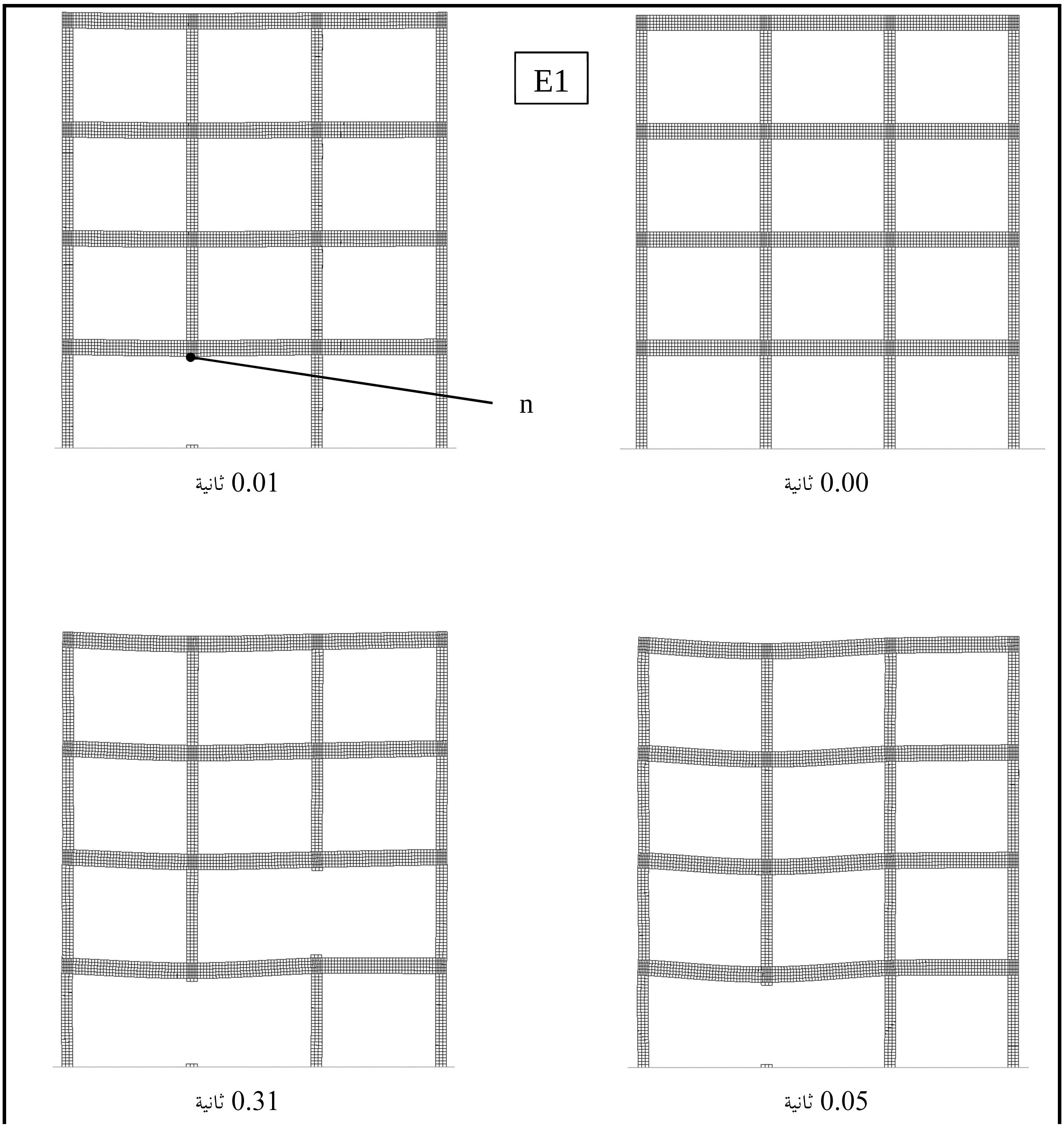
$$\boxed{T1 = 0.35N_u} \qquad (4.5)$$

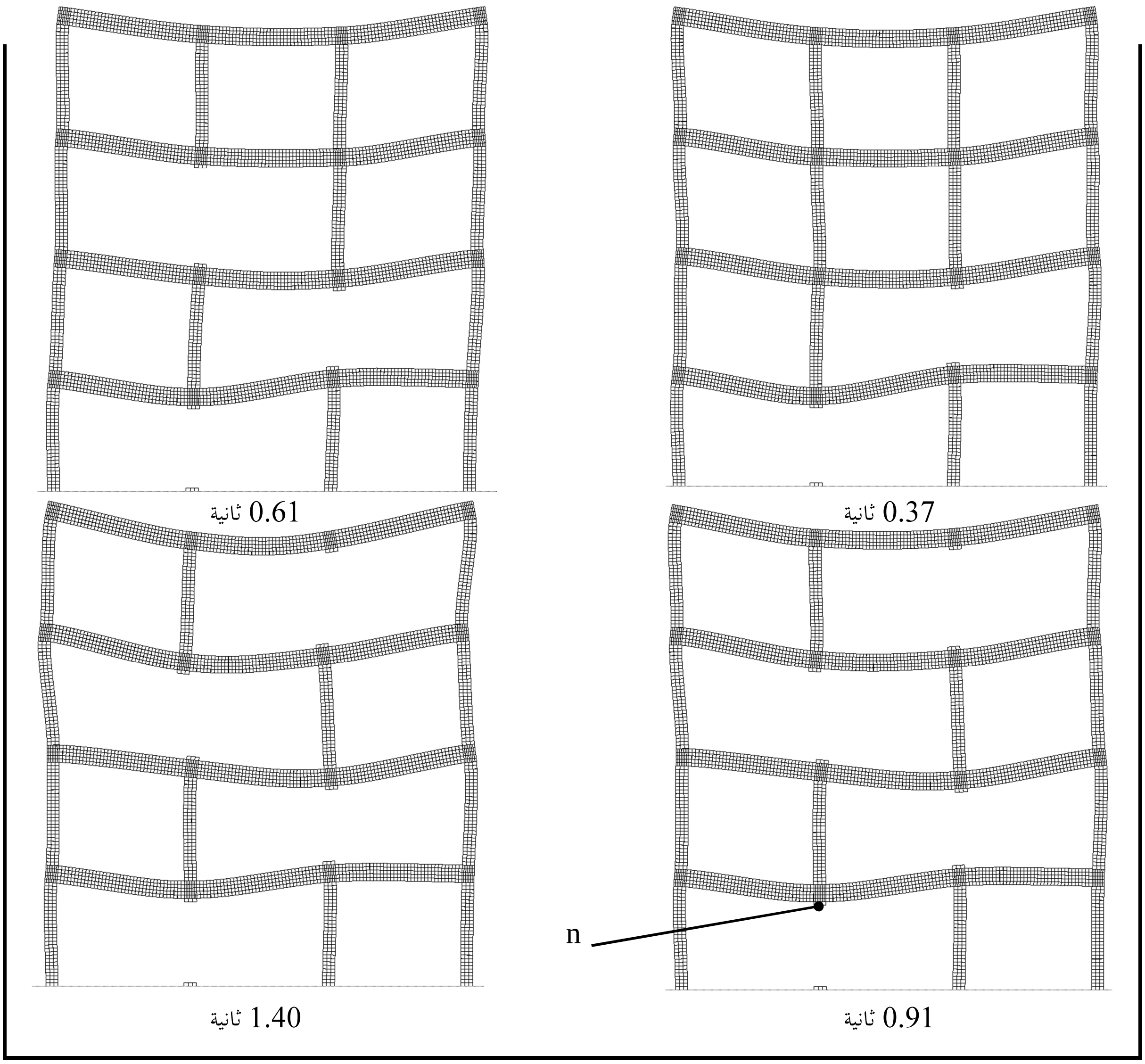
بالنسبة للشداد T2 فإن من الملاحظ من مخططات قوى الشد التي يخضع لها لكل الحالات أن قيم الشد صغير جداً و لا تتجاوز 10% من قوة الشد في T1، و لكن بملاحظة أشكال الانهيار فإنه يعمل على منع الكتل البيتونية من السقوط بالاتجاه الخاطئ و يمكن حسابه بشكل تقريبي كالتالي :

$$T2 = 10\%.T1 \rightarrow T2 = 0.035N_u \qquad (5.5)$$

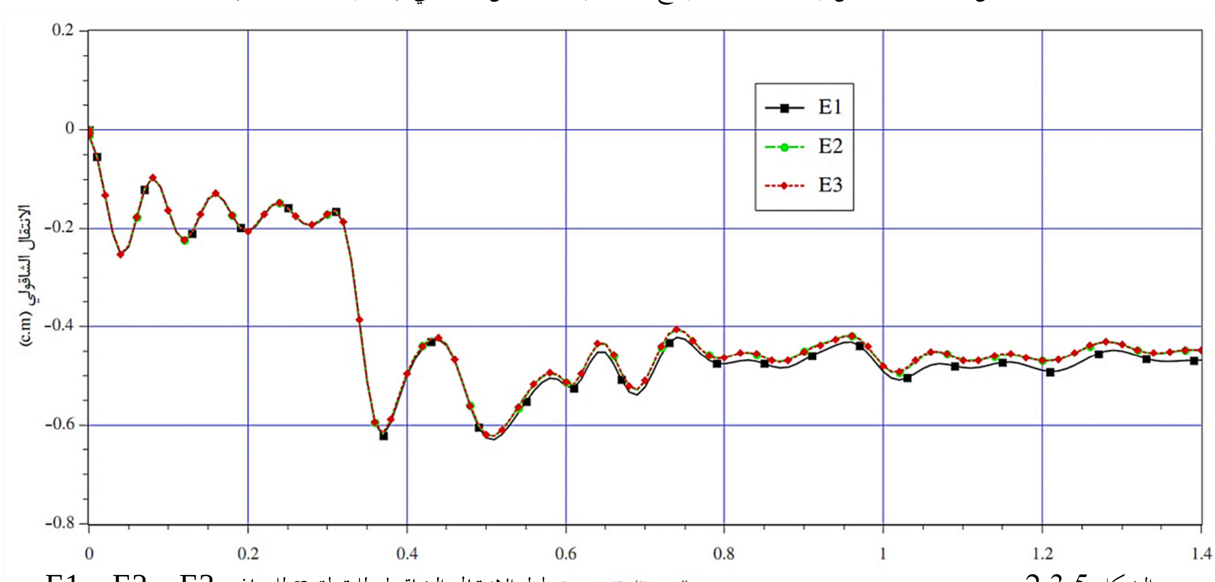
3.5. الإزالة بشكل شطرنجي :

يظهر فيما يلي شكل و آلية الانهيار (التشوه) الناتجة للنماذج المختارة E عندما طبق عليها الإزالة بالشكل الشطرنجي، حيث يلاحظ عدم حدوث انهيار تام أو جزئي للمنشأ و لكن حدث استقرار تشوهات كبيرة بعد إزالة العناصر، كما يظهر في مخطط الانتقال الشاقولي للنقطة n الموضحة في الشكل (1.3.5) مع الزمن :





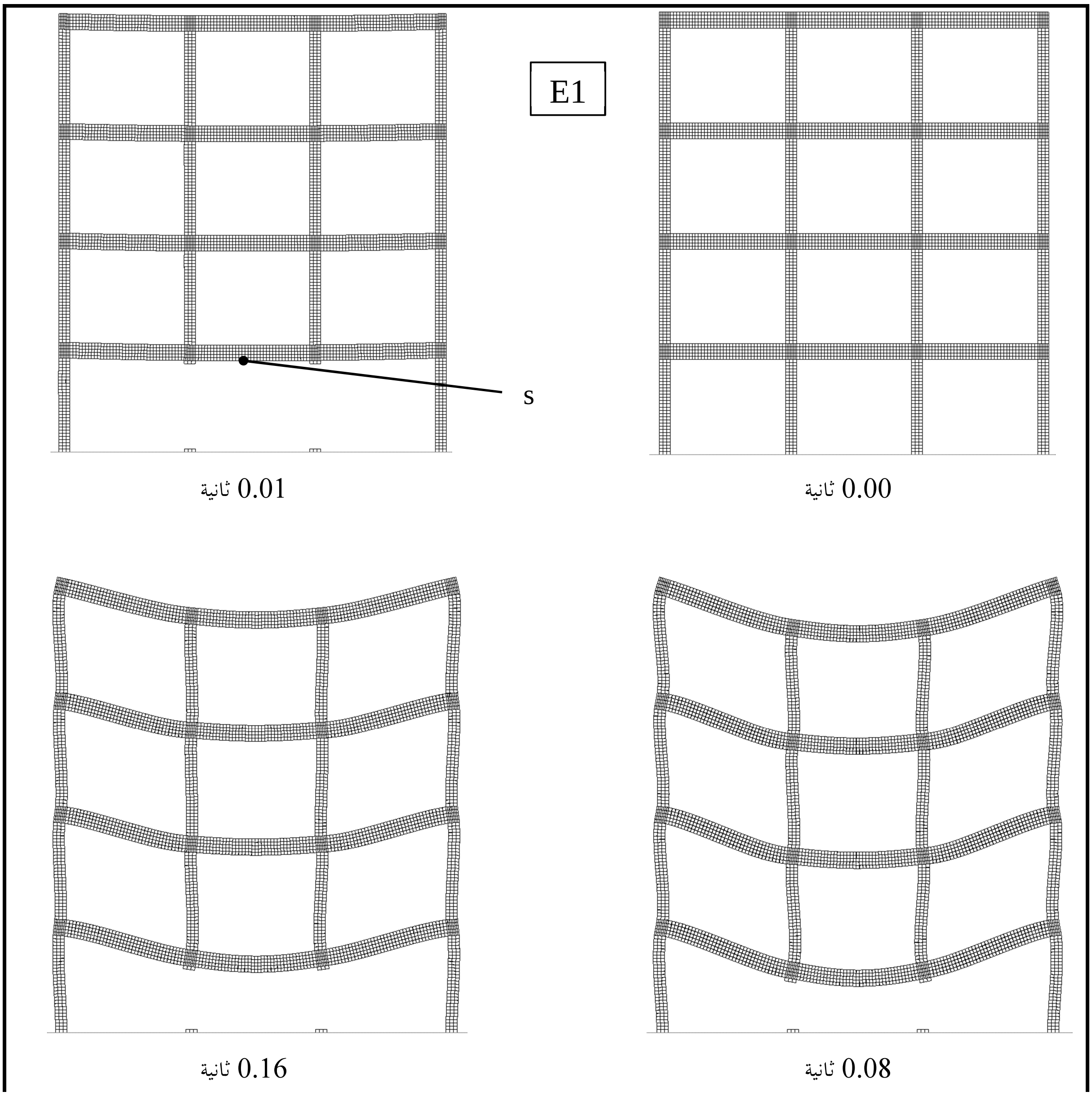
الشكل 1.3.5 : شكل و آلية انهيار النموذج E1 بالإزالة بشكل شطرنجي (التشوهات 100x)

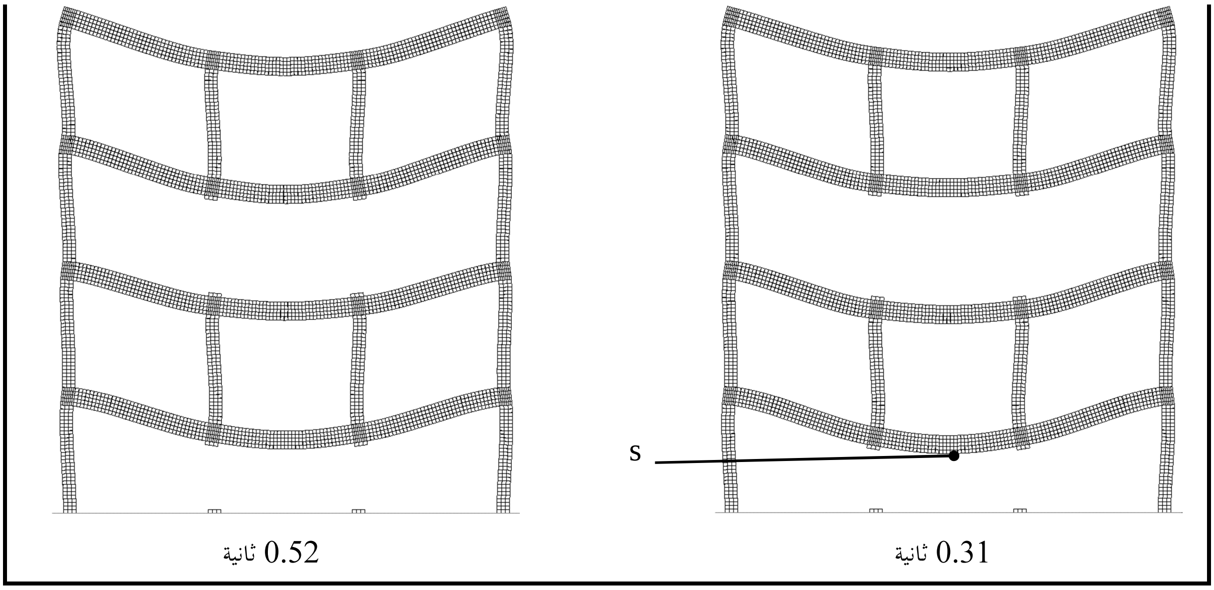


الشكل 2.3.5 : مخطط الانتقال الشاقولي للنقطة n للنماذج E1 – E2 – E3

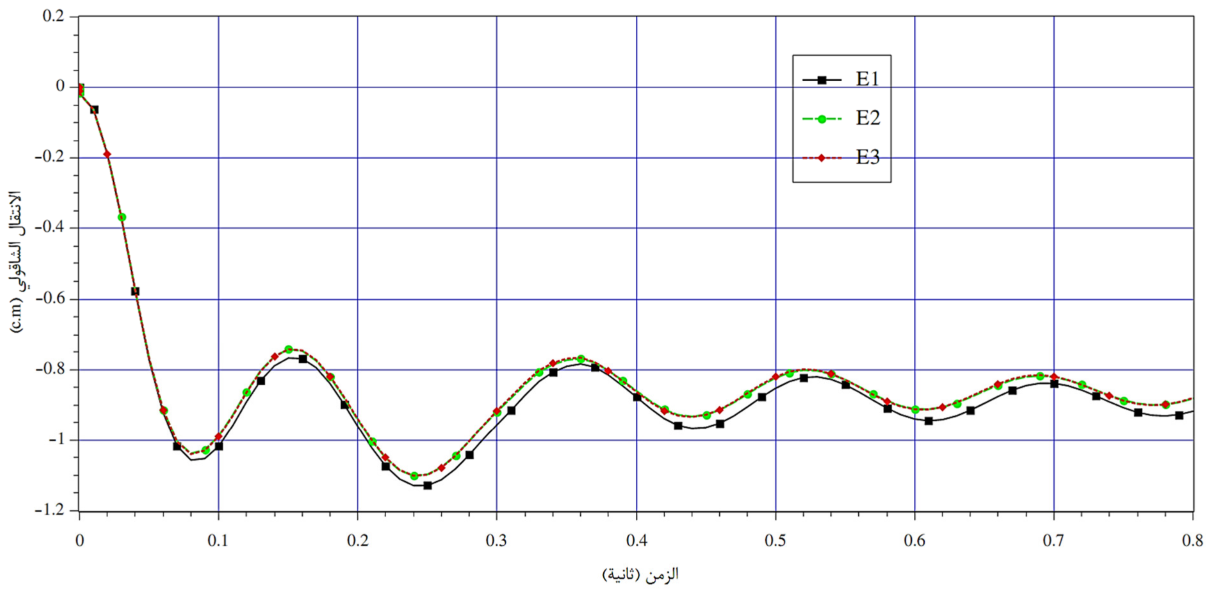
4.5. الإزالة بشكل متناوب :

يظهر فيما يلي شكل و آلية الانهيار (التشوه) الذي حصل للنماذج المختارة E عندما طبق عليها الإزالة بالشكل المتناوب، حيث يلاحظ عدم حدوث انهيار تام أو جزئي للمنشأ و لكن حدث استقرار تشوهات كبيرة بعد إزالة العناصر، كما يظهر في مخطط الانتقال الشاقولي للنقطة s الموضحة في الشكل (1.4.5) مع الزمن :





الشكل 1.4.5 : شكل و آلية انهيار النموذج E1 بالإزالة بشكل متناوب (التشوهات 150x)

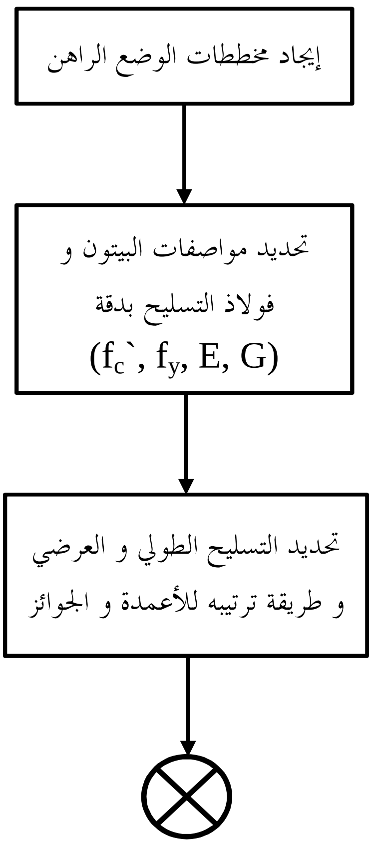


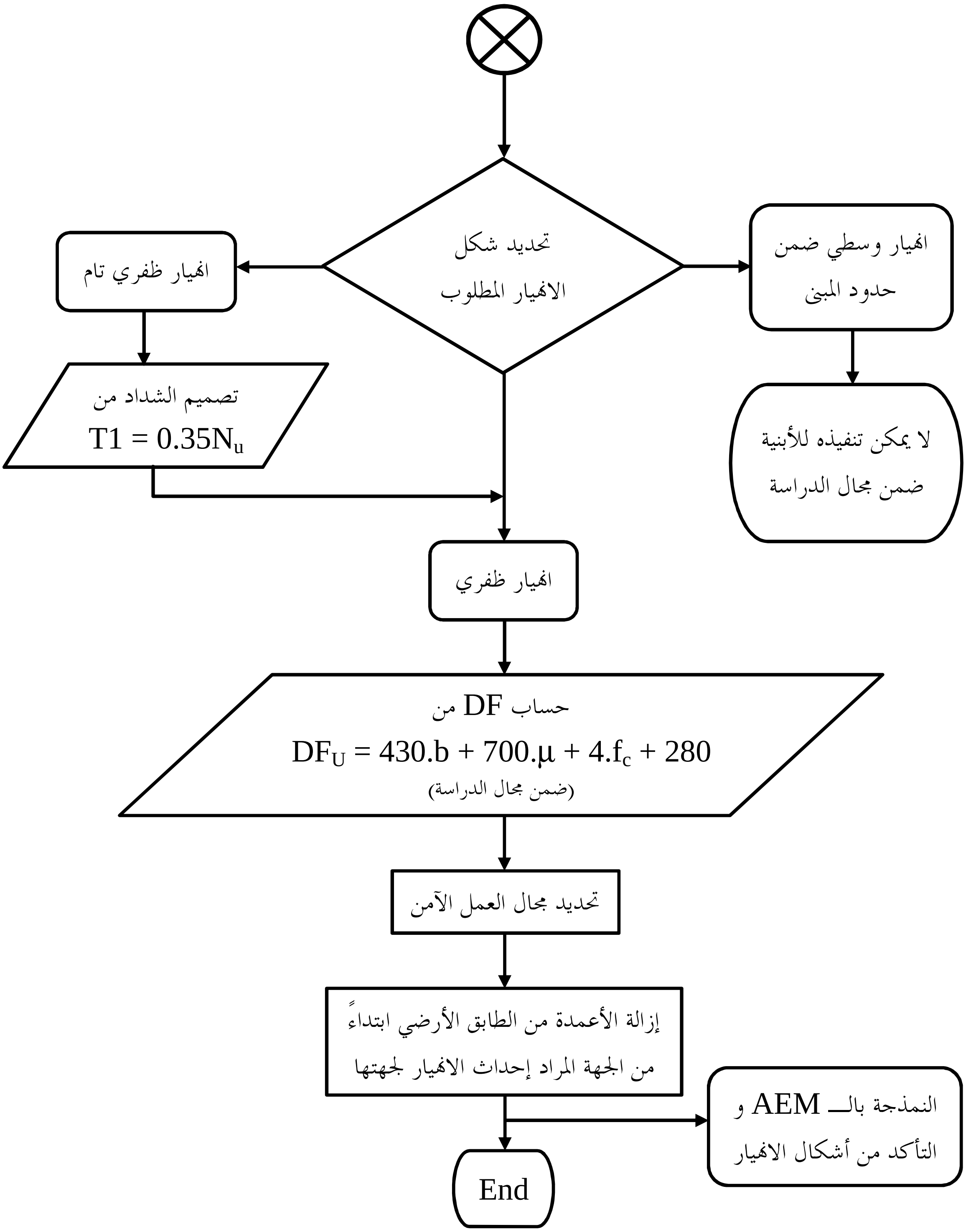
الشكل 2.4.5 : مخطط الانتقال الشاقولي للنقطة s للنماذج E1 – E2 – E3 بالإزالة بشكل متناوب

5.5. الخوارزمية المقترحة لأعمال الإزالة :

نتيجة لدراسة أشكال الانهيارات الواردة في الفقرات السابقة، و المعتمدة على طرق الإزالة الموضوعة في هذا البحث من طريقة الانهيار الظفري العادي أو التام، و التي تم وضع علاقات خاصة فيها لتحديد أبعاد كومة الانقاض الناتجة أو تصميم الشدادات اللازمة لطريقة الانهيار الظفري التام. أو طريقتي الانهيار المتناوب والشطرنجي التي لم تحقق انهيار كامل للمنشأ.

نتيجة لهذه الدراسة يمكن الاستفادة من الخوارزمية الموضحة في الشكل (1.5.5)، و التي يمكن اتباعها لتنفيذ مشاريع الهدم و الإزالة لأبنية طابقية منخفضة الارتفاع (حتى خمس طوابق) و ذات جمل إطارية و تملك مواصفات ضمن المجال المستخدم في الدراسة، و ذلك كما يلي :





الشكل 1.5.5 : خوارزمية العمل المقترحة لتنفيذ أعمال الهدم و الإزالة للأبنية الطابقية

الفصل السادس

نتائج و توصيات

تم في هذا البحث دراسة أشكال انهيار مجموعة من المنشآت الإطارية الممثلة لأبنية منخفضة الارتفاع، تم ذلك بدراسة مجموعة من النماذج التي تم تحديد مواصفتها باعتبارها حالة وضع راهن لأبنية قديمة يراد إزالتها.

كما تمت الدراسة بنمذجة و تحليل هذه المجموعة باستخدام طريقة جديدة في التحليل العددي الإنشائي و هي طريقة العناصر التطبيقية (Applied Element Method)، حيث بينت دراسات و أبحاث التقييم المعروضة ضمن البحث وثوقية هذه الطريقة و قدرتها على إجراء التحليل و الحساب الإنشائي لكامل الطيف المعروف من الحمولات و مراحل عمل المنشأ و صولاً للانهيار و انفصال العناصر عن بعضها و قدرتها على نمذجة المنشأ لما بعد الانهيار حتى استقرار الأنقاض النهائي. فقد تم اختيار طريقة (AEM) بسبب السهولة التي تمنحها في مرحلة النمذجة، و قدرتها على تمثيل البيتون و الفولاذ بشكل منفصل مما يساعد في إعطاء نتائج أكثر دقة عند مرحلة الانهيار، بالإضافة لقدرتها على إجراء التحليل الديناميكي اللاخطي الذي يجب استخدامه لدراسة أشكال و مراحل الانهيار، و إمكانية تحليل و دراسة حركة الأجسام الحرة و تصادماتها أثناء سير عملية الانهيار بشكل أتوماتيكي و بدون تدخل لتحديد الأجزاء المتصادمة و كيفية حركتها.

1.6. النتائج :

- بينت الدراسة إمكانية القيام بتحليل الانهيارات بالطريقة الجديدة طريقة العناصر التطبيقية بما يفيد في مشاريع الهدم و الإزالة للأبنية القديمة أو التي يراد التخلص منها لعدم كفائتها، و ذلك للحصول على شكل الانهيار المتوقع حدوثه لتحقيق متطلبات الأمان و التكلفة الأقل.

- إن الانهيار الفعال في المباني الإطارية منخفضة الارتفاع هو الانهيار الظفري (بشكليه العادي و التام) و الذي يمكن الاستفادة منه لتنفيذ أعمال الهدم و الإزالة للمنشآت.

- للاستفادة من طريقة الانهيار الظفري يجب إزالة الأعمدة في الطابق الأرضي فقط، حيث أن إزالة أعمدة من الطوابق الأخرى يعتبر عملاً غير مجدي نظراً لعدم الاستفادة منه في تغيير شكل كومة الأنقاض الناتجة.

- بينت نتائج الدراسة لحالات الإزالة كافة عدم حصول انهيار وسطي مركزي تتشكل فيه كومة الانقاض في وسط المنشأ و بدون زيادة على الأطراف و خارج الحدود الأساسية للمبنى، و ذلك للحالات المدروسة كونها أبنية قليلة الأبعاد و عرضها غير كافي لإحتواء الانقاض المتشكلة بالإضافة للحمولات الصغيرة التي لم تسمح بحدوث الانهيار (و خاصة للشكل الشطرنجي و المتناوب) كون الأبنية ذات عدد طوابق قليلة.

- أظهرت نتائج تحليل الانهيارات على النماذج المختارة E بعد تغير مجموعة مواصفات في هذه النماذج (فتحة المجاز، نسبة التسليح الطولي، مقاومة البيتون و كثافة التسليح العرض) أن أبعاد كومة الأنقاض المتشكلة تتأثر بهذه المتغيرات وفق التالي :

  أ. يزداد خط انتشار الأنقاض DF بزيادة عرض المنشأ و بزيادة مجاز الإطار.

  ب. يزداد خط انتشار الأنقاض بزيادة التسليح الطولي للأعمدة و الجوائز.

  ت. يعتبر تأثير التسليح العرضي و درجة كثافته على خط انتشار الأنقاض قليلاً. و لا يظهر هذا التأثير إلا في المنشآت ذات مقاومة البيتون المنخفضة كون تسليح الأساور يعمل كتطويق للمقاطع البيتونية.

  ث. مقاومة البيتون ذات تأثر قليل على خط انتشار الأنقاض، و خاصة للمقاومات العالية.

- يمكن إجراء الحساب التقريبي لخط انتشار (حقل الانتشار Debris Field) الانقاض الناتجة عن عملية الإزالة و الممثلة بالقيمة DF_U بحسب المعادلة التقريبية المستنتجة في البحث، و ذلك ضمن مجال الدراسة.

- يمكن تنفيذ انهيار ظفري تام تتجه فيه الأنقاض لجهة واحدة فقط، يكون مرغوباً في حال وجود جوار للمنشأ المراد إزالته، و ذلك بإضافة شدادات تربط رأس الأعمدة الطرفية للطابقين الأول و الثاني بنقطة ثابتة على الأرض، بحيث يعمل العمود الطرفي كحاجز لكومة الأنقاض، مع ملاحظة وجوب الاهتمام بتدعيم رأس العمود المربوط بالشداد. كما يمكننا تصميم الشدادات بالطريقة التقريبية المستنتجة في البحث.

- كذلك يمكن اعتماد المعادلة المستنتجة و الخاصة بالانهيار الظفري العادي لحساب أبعاد كومة الأنقاض للانهيار الظفري التام، كون القيم الناتجة من التحليل كانت دوماً أصغر في الانهيار التام منها في العادي، مما يعطي قيم متحفظة لصالح الأمان.

- يمكن استعمال خوارزمية العمل المقترحة في البحث، بحيث تكون مسار العمل التي يمكن اتباعها لتنفيذ مشاريع الهدم و الإزالة، فقد تم توضيح الخطوات الأساسية الواجب اتباعها لأي مشروع من هذا النوع.

2.6. التوصيات :

أوضح البحث نتائج الدراسة على الأبنية الطابقية منخضة الارتفاع وذات جمل إطارية، لذلك يمكن التركيز في الأبحاث و الدراسات القادمة على عدة نقاط بحيث تكون كمتابعة لهذا البحث :

- دراسة الأبنية المرتفعة، أكثر من ستة طوابق، لمعرفة طرق الإزالة الأفضل لها و إمكانية إحداث انهيارات متتابعة فيها و أشكال هذه الانهيارات.

- دراسة المنشآت بالشكل الفراغي، لمعرفة تأثير البلاطات و شكل انهيارها، و دراسة إمكانية إحداث انهيار ظفري تام فيها و جهة كومة الأنقاض الناتجة و أبعادها.

- إدخال تأثير جدران القص في جمل مستوية أو فراغية، و معرفة مقدار تأثيرها على أشكال الانهيار.

- يمكن الاستفادة من طريقة الـــ AEM و برنامج ELS لدراسة أنواع مختلفة من الحمولات الفائقة، كالحملات الانفجارية أو حمولات الصدم، و دراسة تأثيرها على المنشآت و طرق التصميم الواجب اتباعها لمقاومة هذه الأنواع من الحمولات.

- كما يمكن الاستفادة كذلك من الطريقة لدراسة تصميم المنشآت على الانهيارات المتتابعة، و معرفة تأثير إزالة عناصر من المنشأ على أدائه و طرق التدعيم أو التقوية الواجب تطبيقها لتفادي هذه التأثيرات.

المراجع :

[1] الكود العربي السوري لتصميم و تنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة 1995، منشورات نقابة المهندسين السوريين.

[2] ACI Committee 318 : "**Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-02) and Commentary (ACI 318RM-02)**", First Printing, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., **2002**.

[3] American Society of Civil Engineers (ASCE) : "**Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures**", ASCE/SEI 7-05, Reston, VA, **2005**.

[4] Applied Science International : "**Extreme Loading for Structures Technical Manual**", Raleigh, NC, USA, **2006**.

[5] Griffin J.W. : "**Experimental and Analytical Investigation of Progressive Collapse through Demolition Scenarios and Computer Modeling**", Master thesis, North Carolina State University, Civil Engineering Department, USA, **2008**.

[6] Hansen E., Wong F., Lawver D., Oneto R., Tennant D. and Ettouney M. : "**Development of an Analytical Database to Support a Fast Running Progressive Collapse Assessment Tool**", Proceedings: 2005 Structures Congress and the 2005 Forensic Engineering Symposium – Metropolis and Beyond, April 20-24, New York, NY, 2095-2108, **2005**.

[7] International Code Council : "**International Building Code (IBC)**", First Printing, Country Club Hills, IL, **2006**.

[8] Kabele P., Pokorný T. and Koska R. : "**Finite Element Analysis of Building Collapse During Demolition**", Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, Czech Republic, **2005**.

[9] Lupoae M., Bucur C. : "**Building Demolition – Positive Aspect Of Progressive Collapse**", MTA Review, Vol. XIX, No. 4, December **2009**.

[10] Meguro K. and Tagel-Din H. : "**Applied Element Method for Structural Analysis: Theory and Application for Linear Materials**", Structural Eng./Earthquake Eng., International Journal of the Japan Society of Civil Engineers (JSCE), Vol. 17, No. 1, 21-35, April **2000**.

[11] Meguro K. : "**Applied Element Method : A New Efficient Tool for Design of Structure Considering its Failure Behavior**", International Center for Urban Safety Engineering (ICUS/INCEDE) Report 1, Bangkok, Thailand, 13-30, September **2001**.

[12] Meguro K. and Tagel-Din H. : "**Applied Element Simulation of RC Structures under Cyclic Loading**", Journal of Structural Engineering, Vol. 127, No. 11, 1295-1305, November **2001**.

[13] Meguro K. and Tagel-Din H. : "**Applied Element Method Used for Large Displacement Structural Analysis**", Journal of Natural Disaster Science, Vol. 24, No. 1, 25-34, **2002**.

[14] Tagel-Din H. and Meguro, K. : "**Applied Element Simulation for Collapse Analysis of Structures**", Bulletin of Earthquake Resistant Structure, No. 32, **1999**.

[15] Tagel-Din H. and Meguro, K. : "**Applied Element Method for Simulation of Nonlinear Materials: Theory and Application for RC Structures**", Structural Eng./Earthquake Eng., International Journal of the Japan Society of Civil Engineers (JSCE) Vol. 17, No. 2, 137-148, July **2000**.

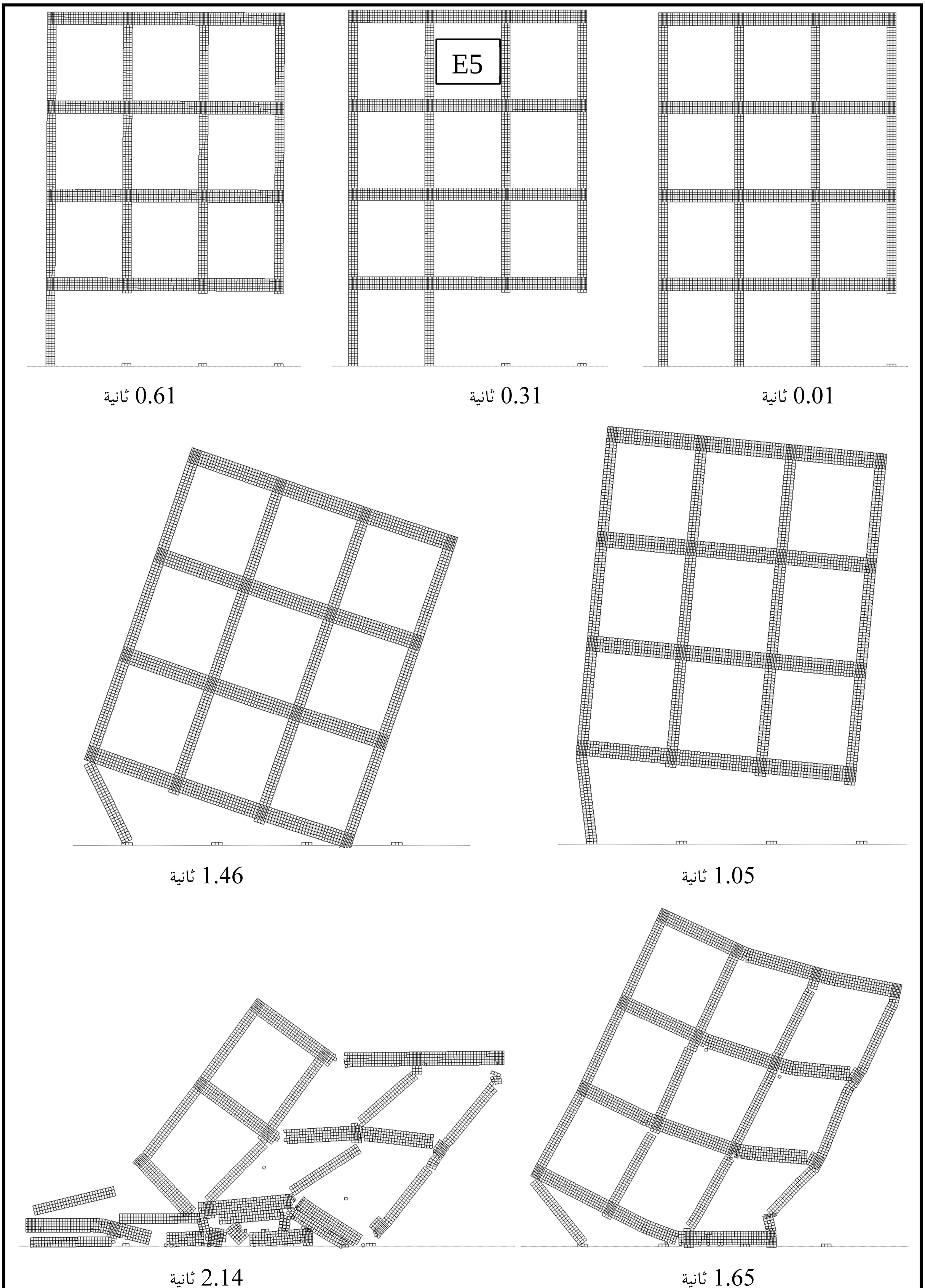
[16] Tagel-Din H. and Meguro K. : "**Applied Element Method for Dynamic Large Deformation Analysis of Structures**", Structural Eng./Earthquake Eng., International Journal of the Japan Society of Civil Engineers (JSCE), Vol. 17, No. 2, 215-224, October **2000**.

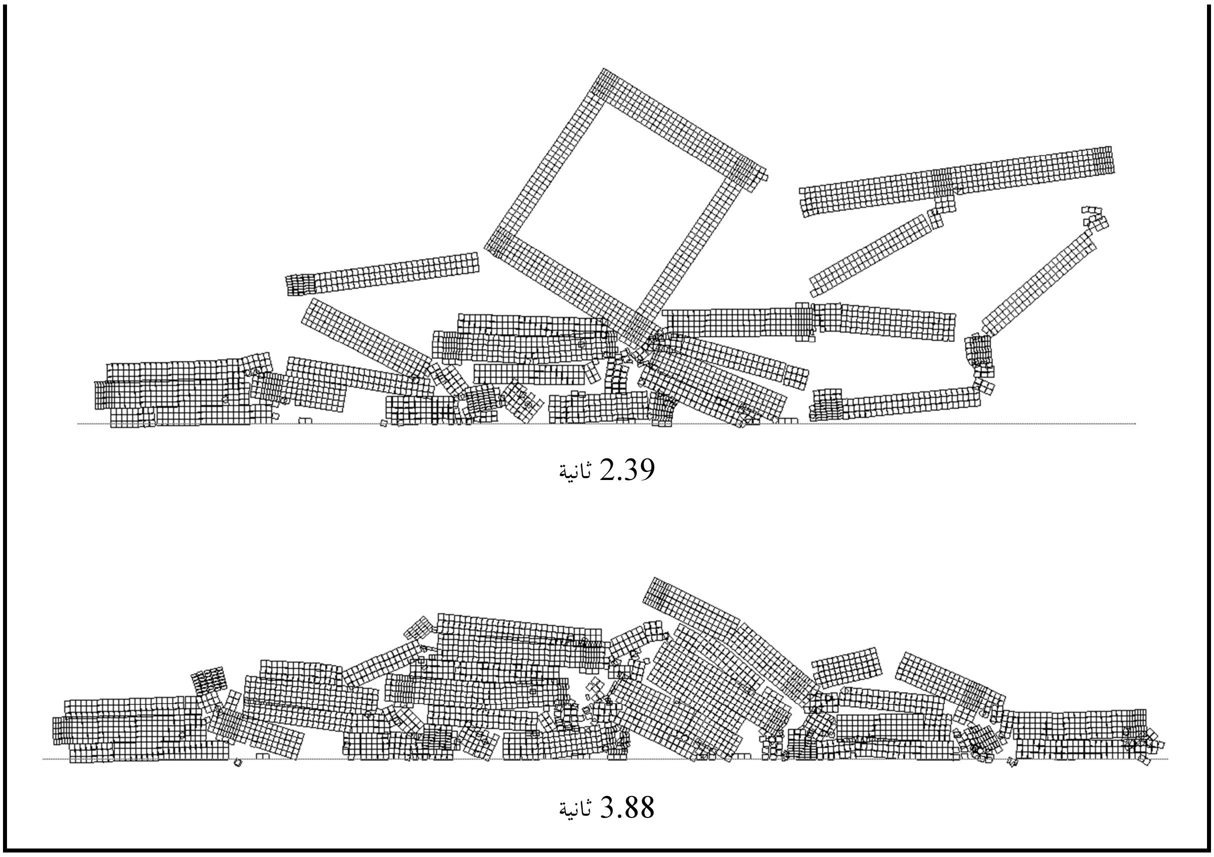
[17] Tagel-Din H. and Meguro K. : "**Analysis of a Small Scale RC Building Subjected to Shaking Table Tests using Applied Element Method**", Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, **2000**.

[18] Tagel-Din H., Rahman N. A. : "**The Applied Element Method: The Ultimate Analysis of Progressive Collapse**", Structure Magazine, No 4, 30-33, April **2006**.

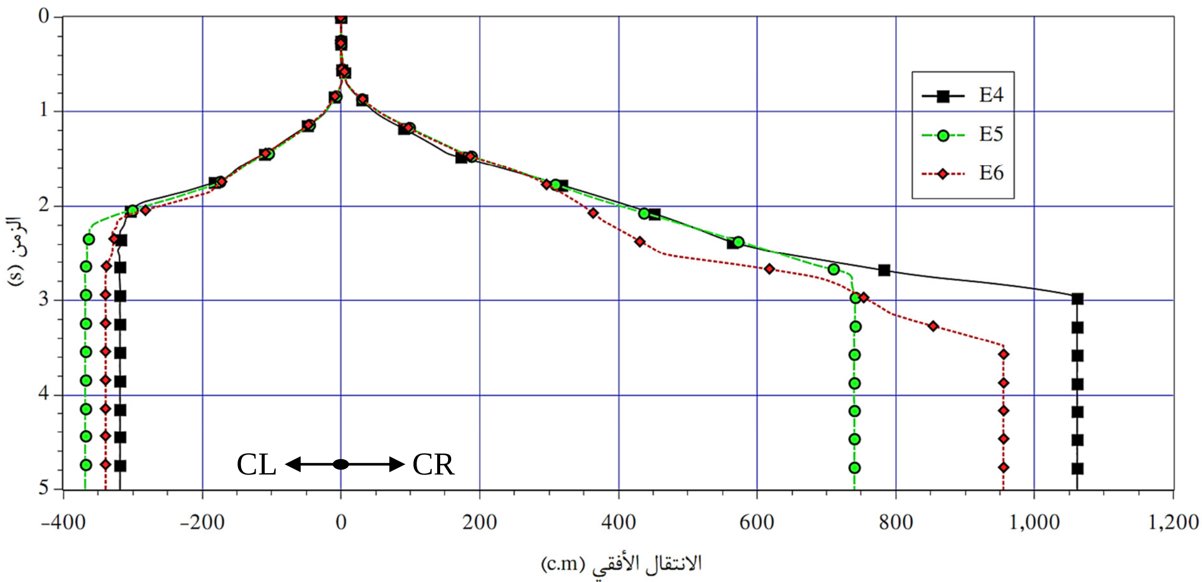
ملحـــــق

1. الانهيار الظفري العادي :



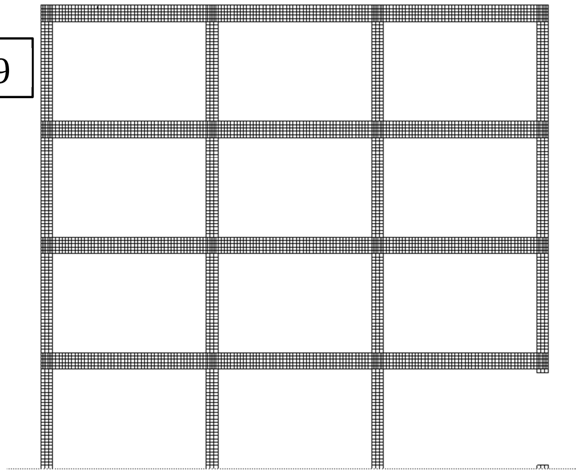


الشكل 1.1.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E5

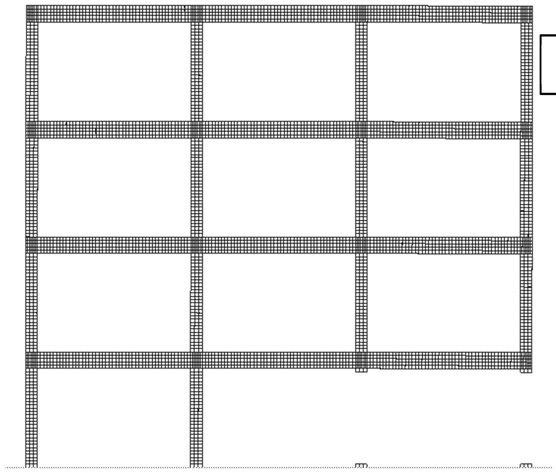


الشكل 2.1.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E4 – E5 – E6

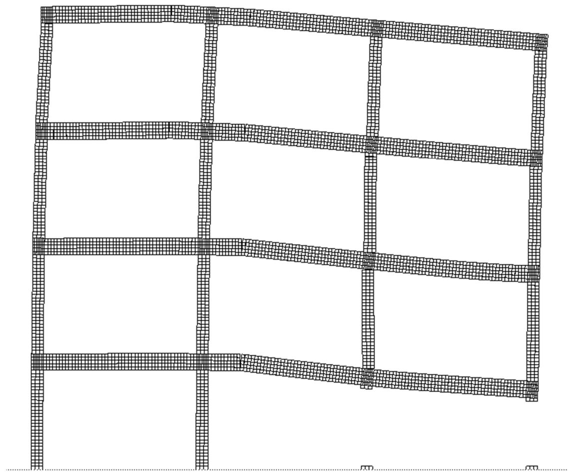
E9



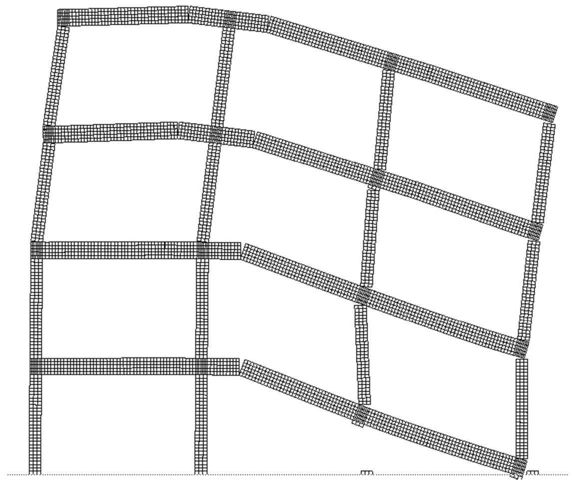
0.01 ثانية



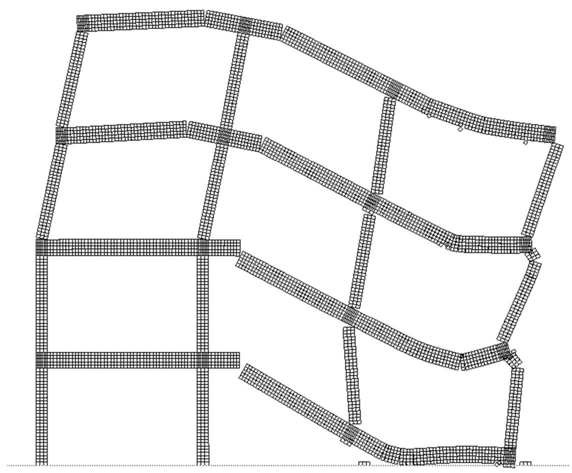
0.31 ثانية



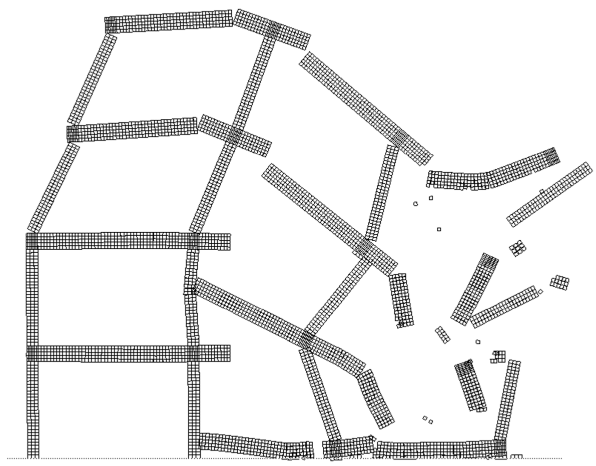
0.86 ثانية



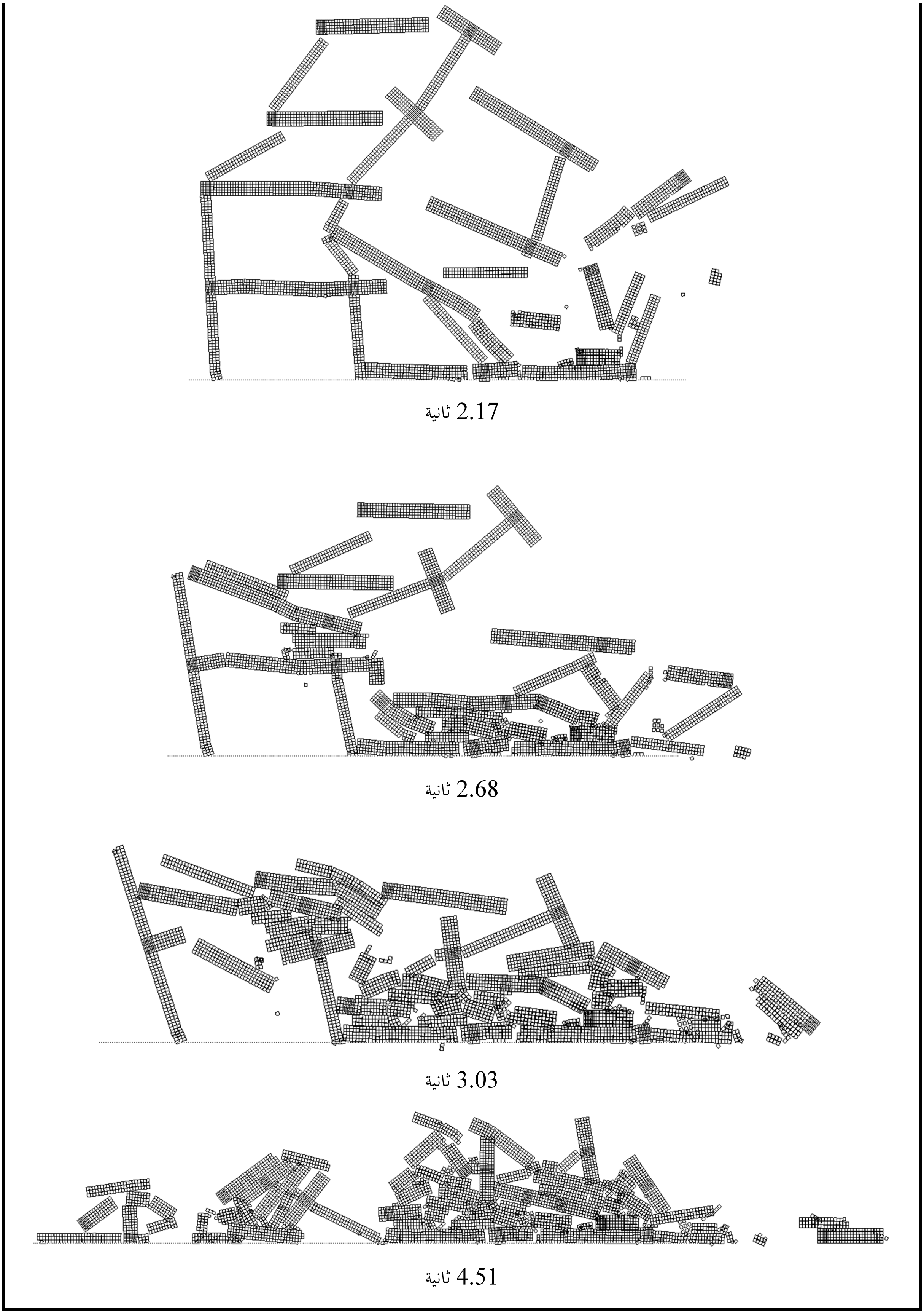
1.26 ثانية



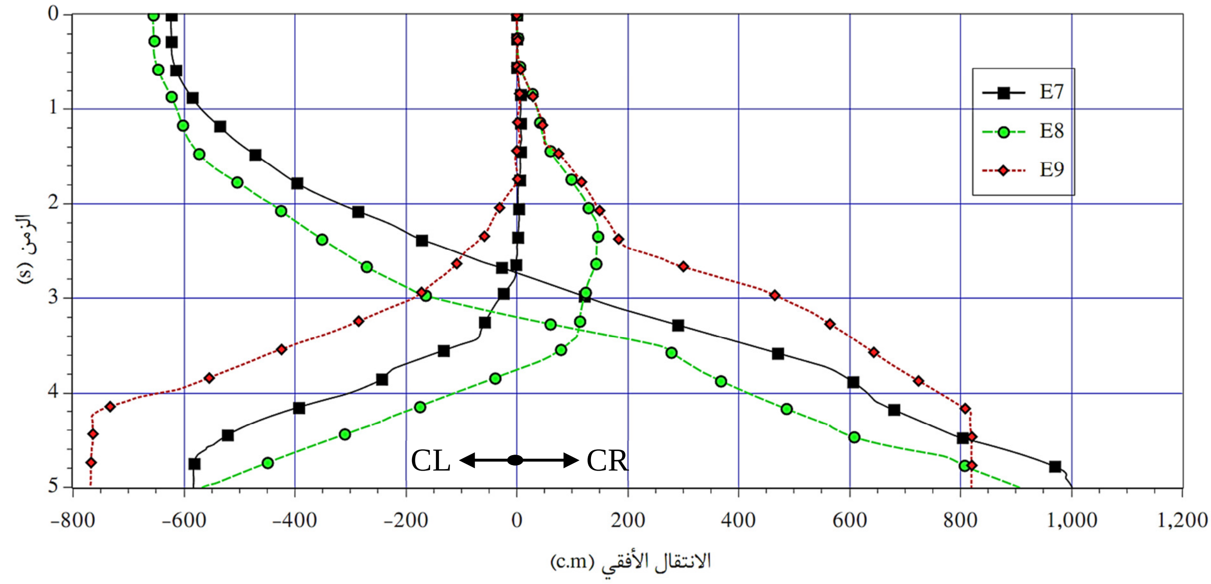
1.45 ثانية



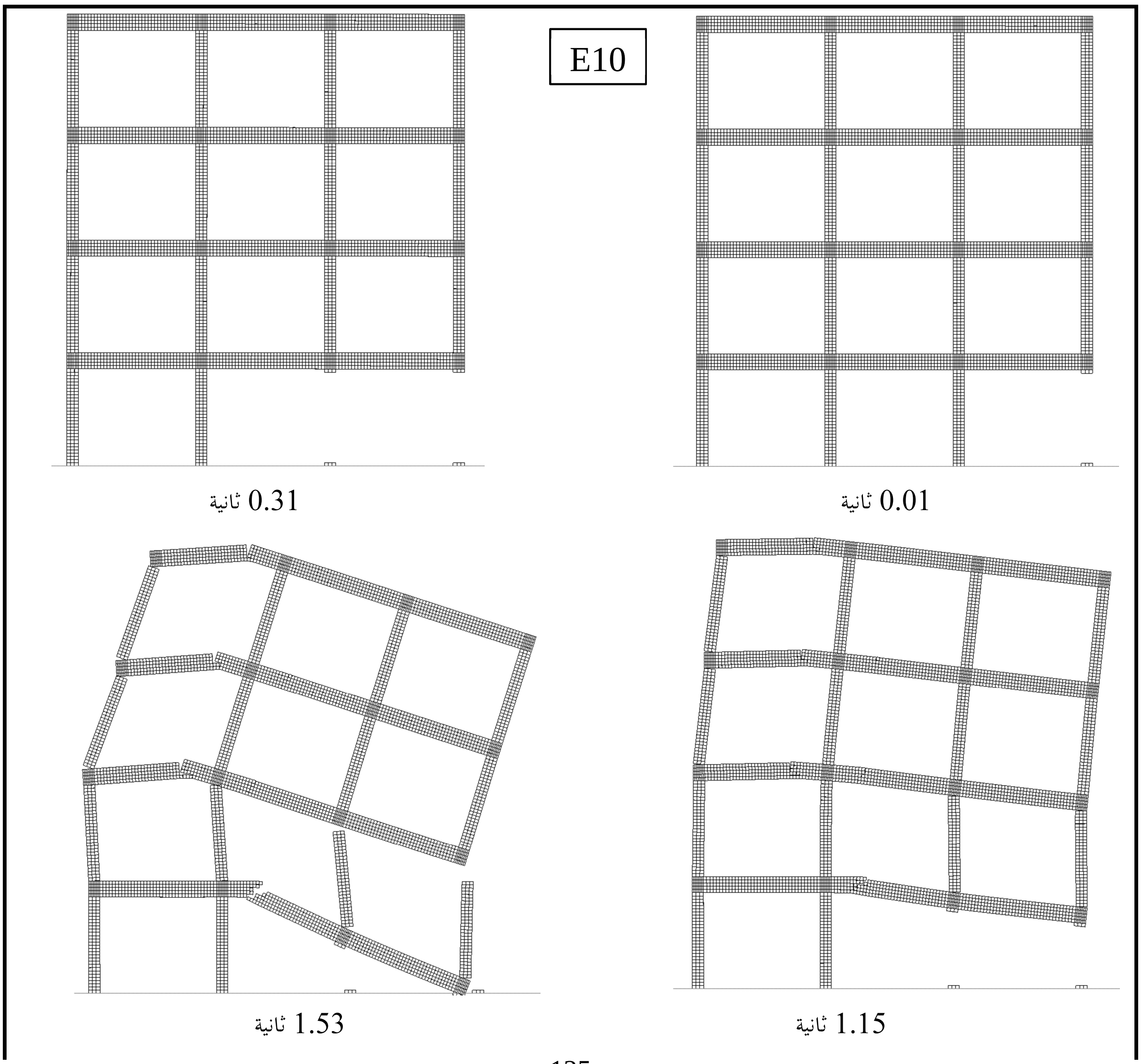
1.81 ثانية

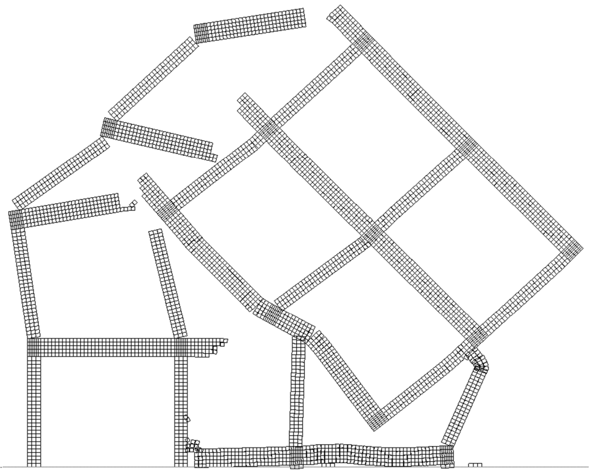


الشكل 3.1.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E9

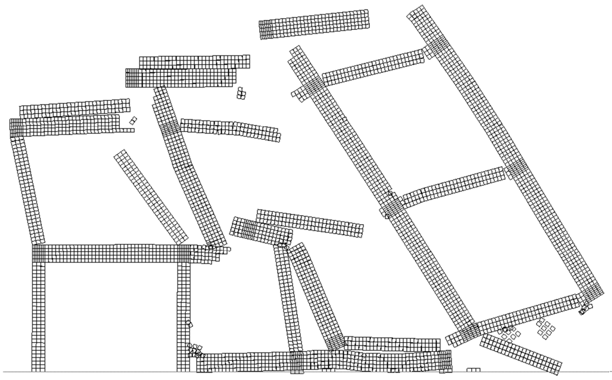


الشكل 4.1.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E4 – E5 – E6

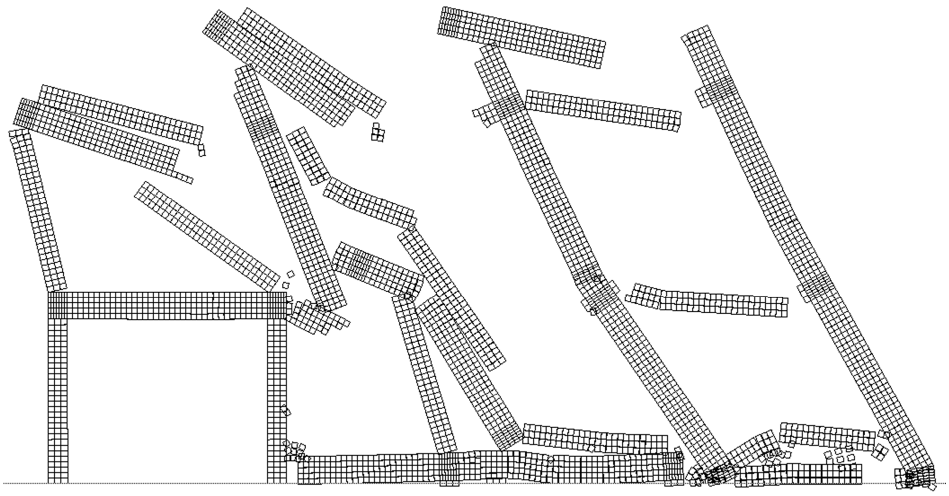




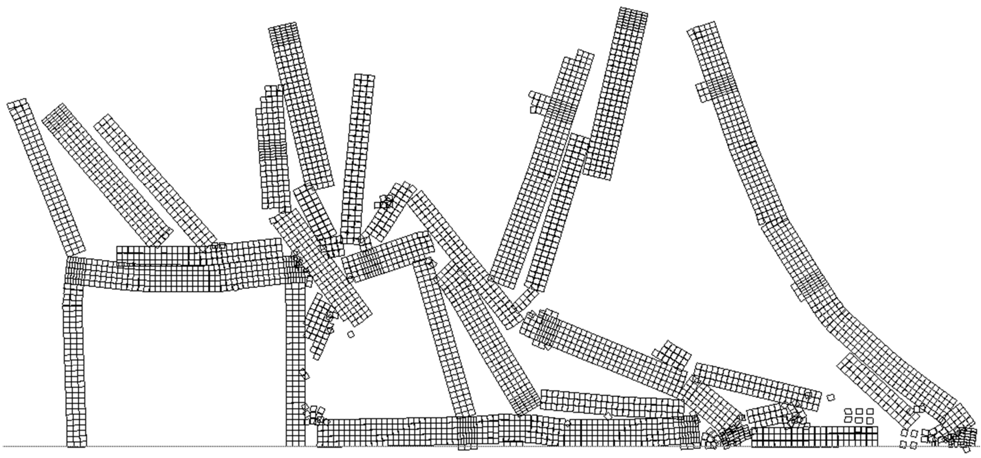
2.06 ثانية



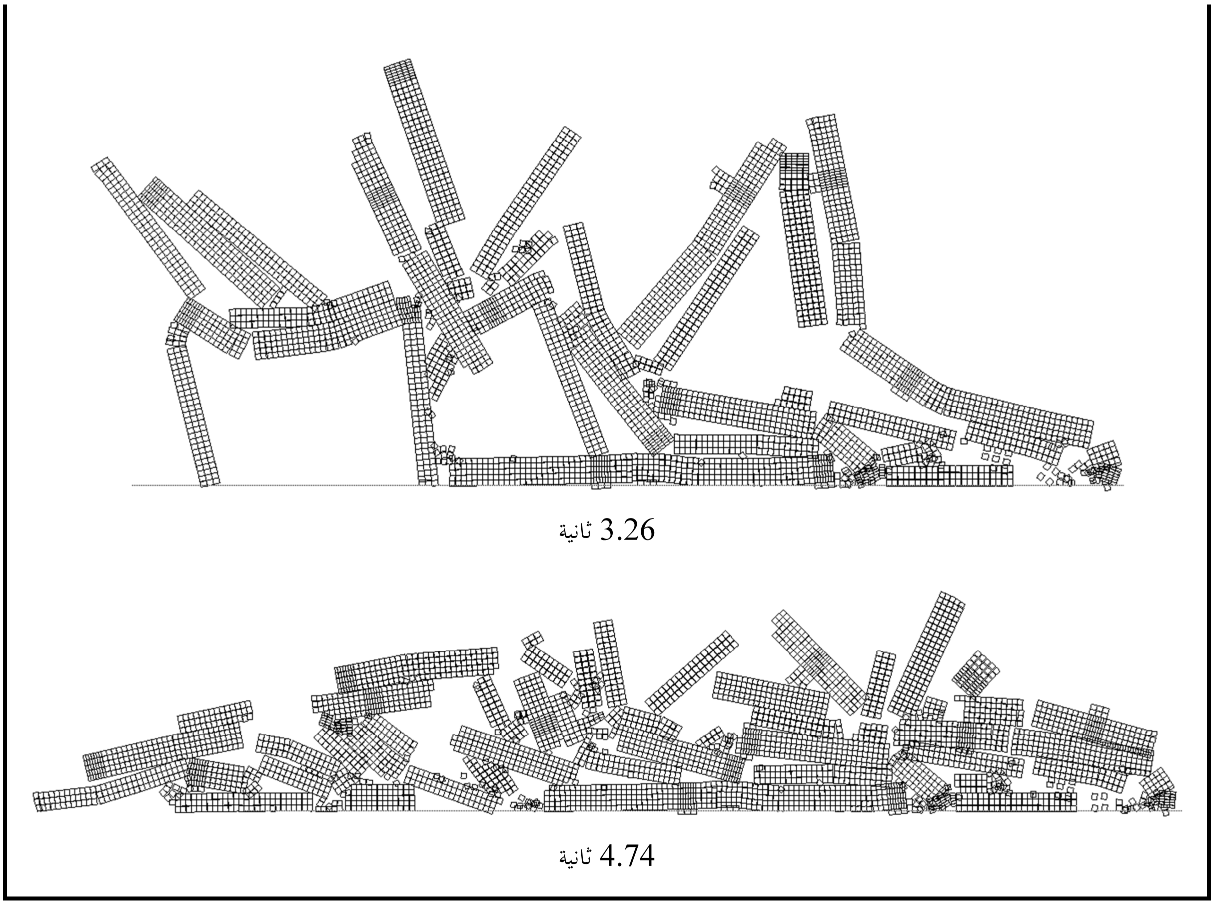
2.40 ثانية



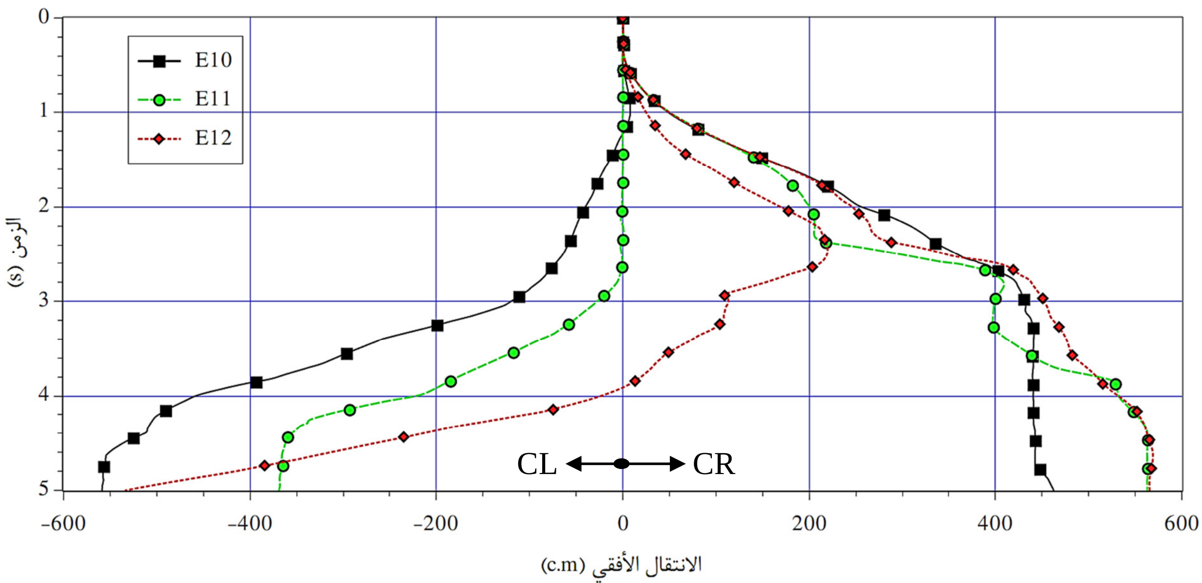
2.59 ثانية



2.96 ثانية

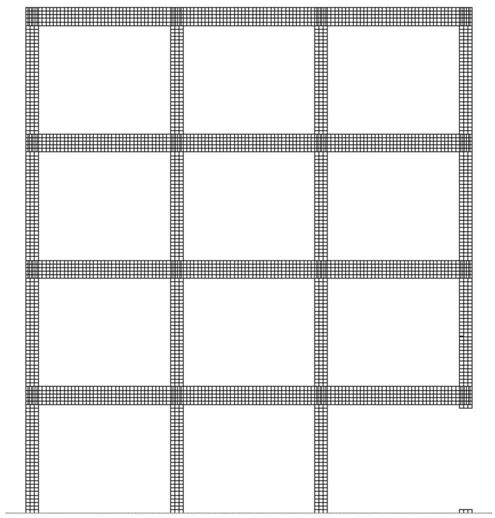


الشكل 5.1.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E10

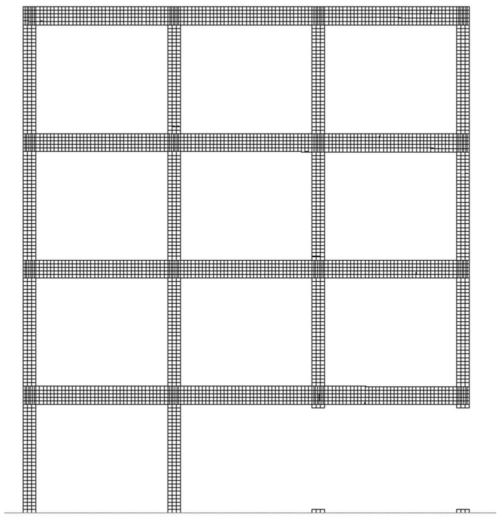


الشكل 6.1.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E10 – E11 – E12

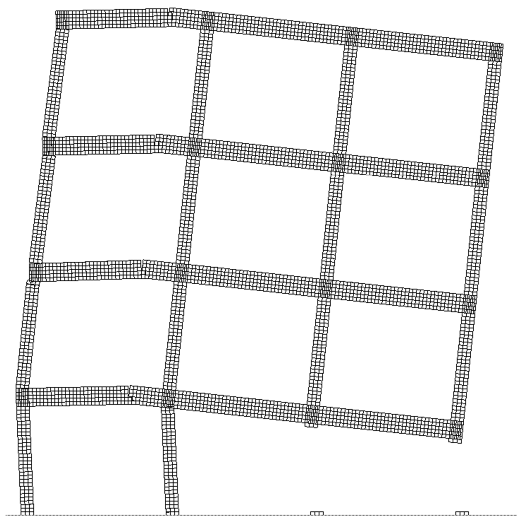
E14



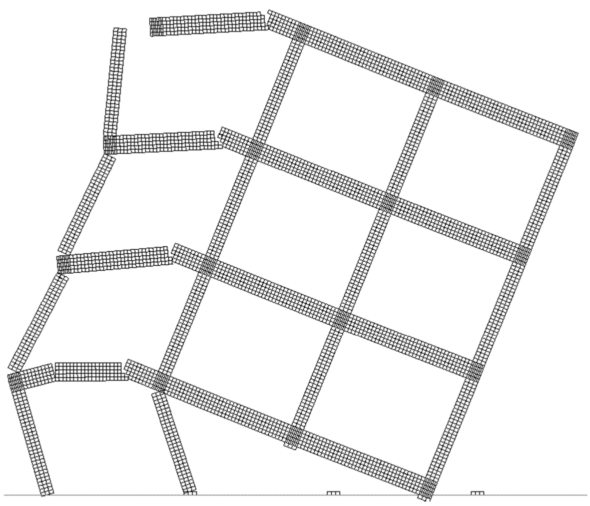
0.01 ثانية



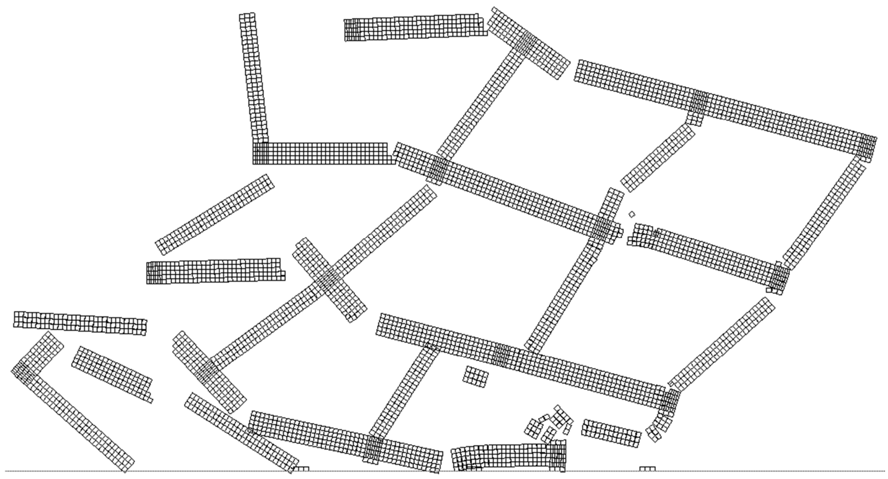
0.31 ثانية



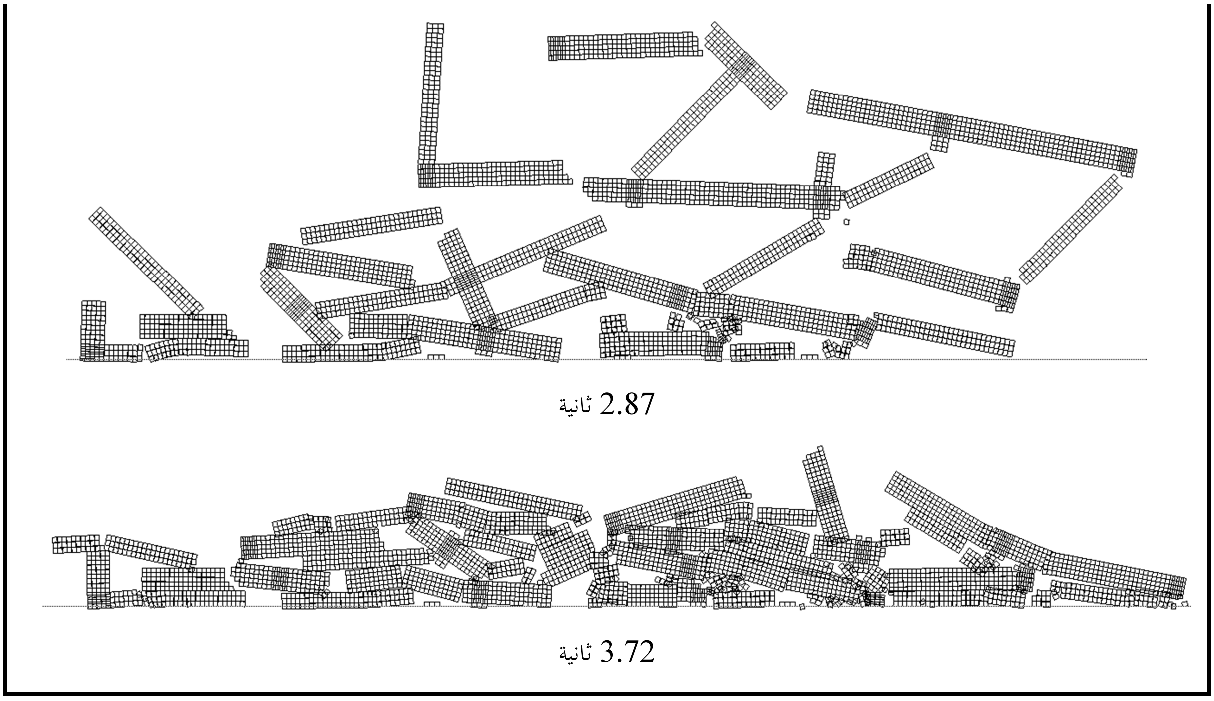
1.45 ثانية



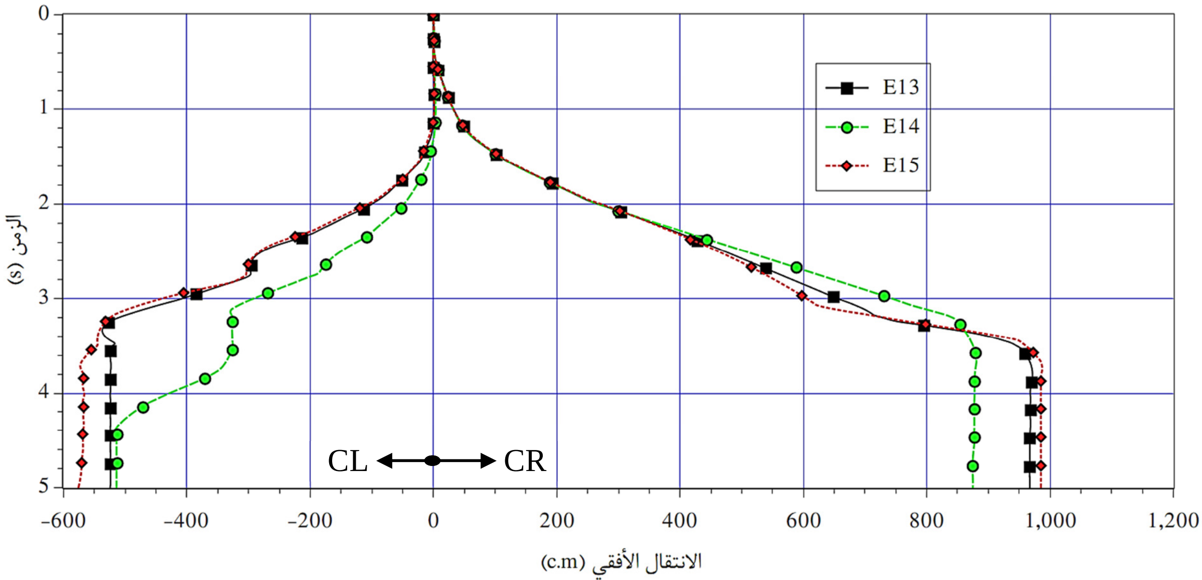
1.99 ثانية



2.51 ثانية

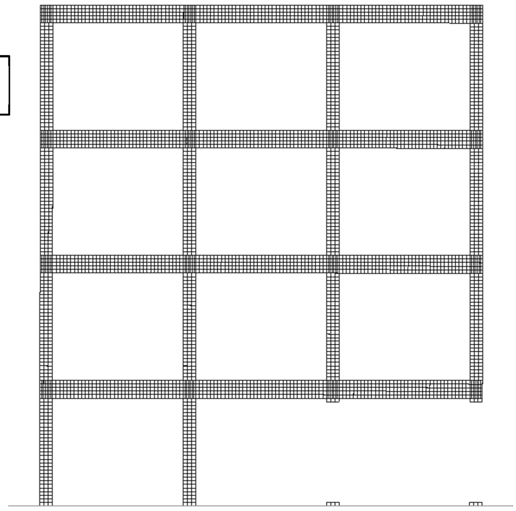


الشكل 7.1.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E14

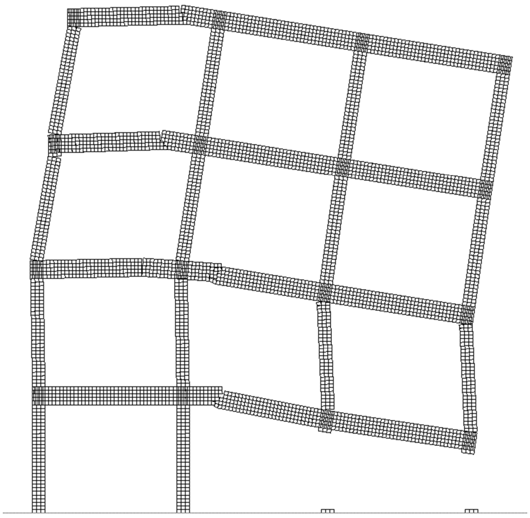


الشكل 8.1.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E13 – E14 – E15

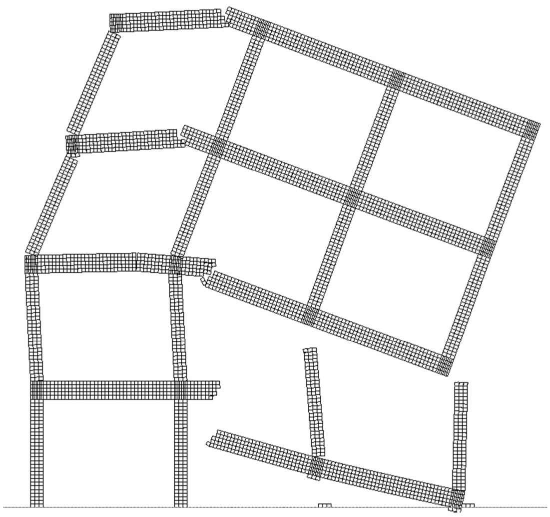
E17



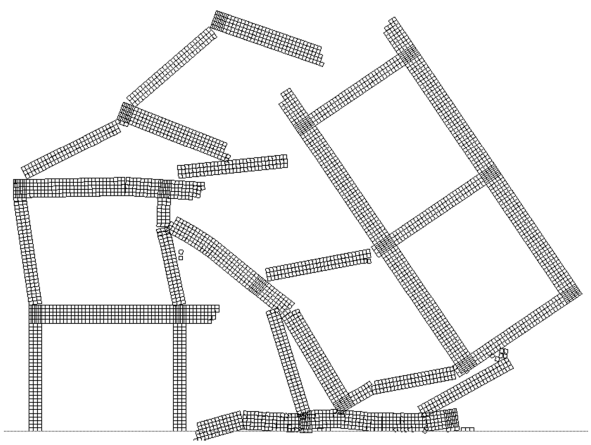
0.31 ثانية



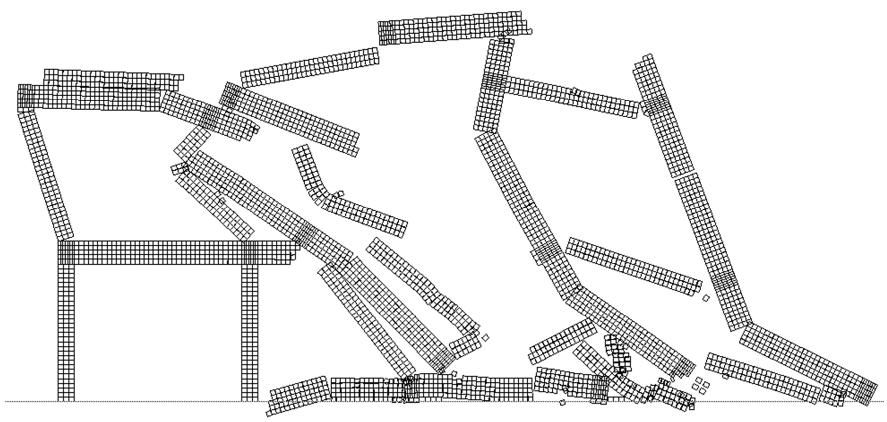
1.22 ثانية



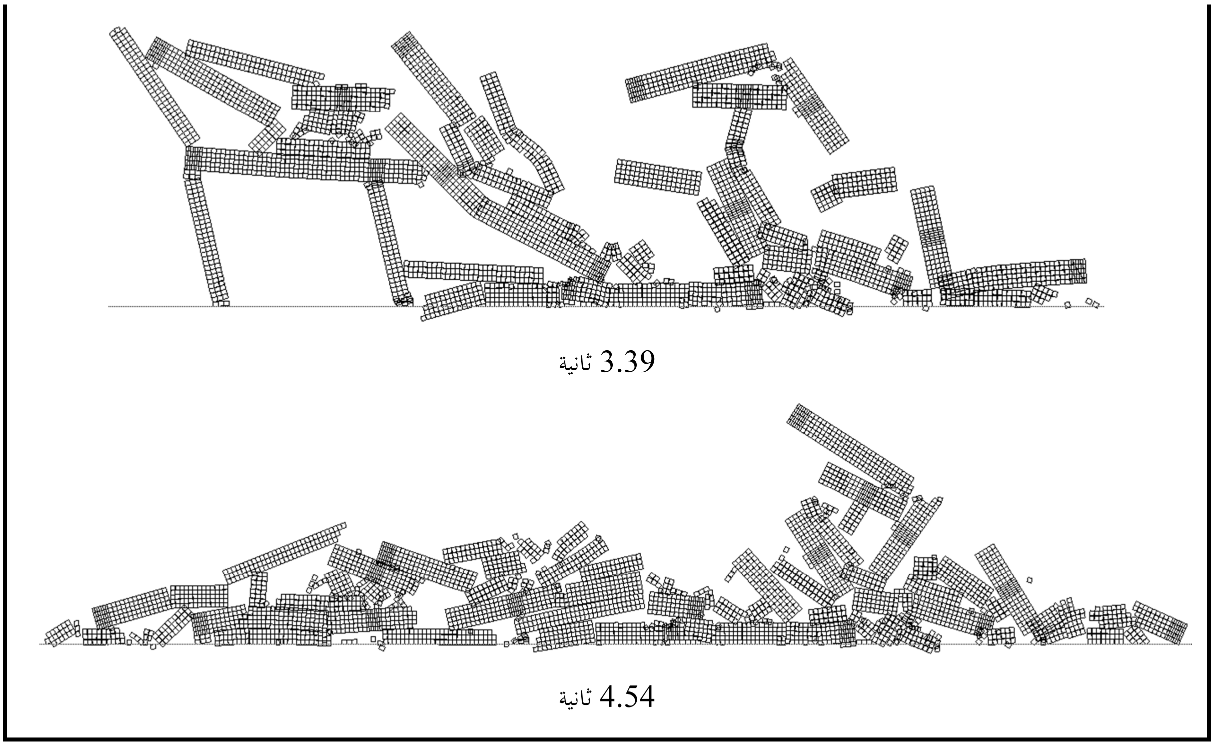
1.56 ثانية



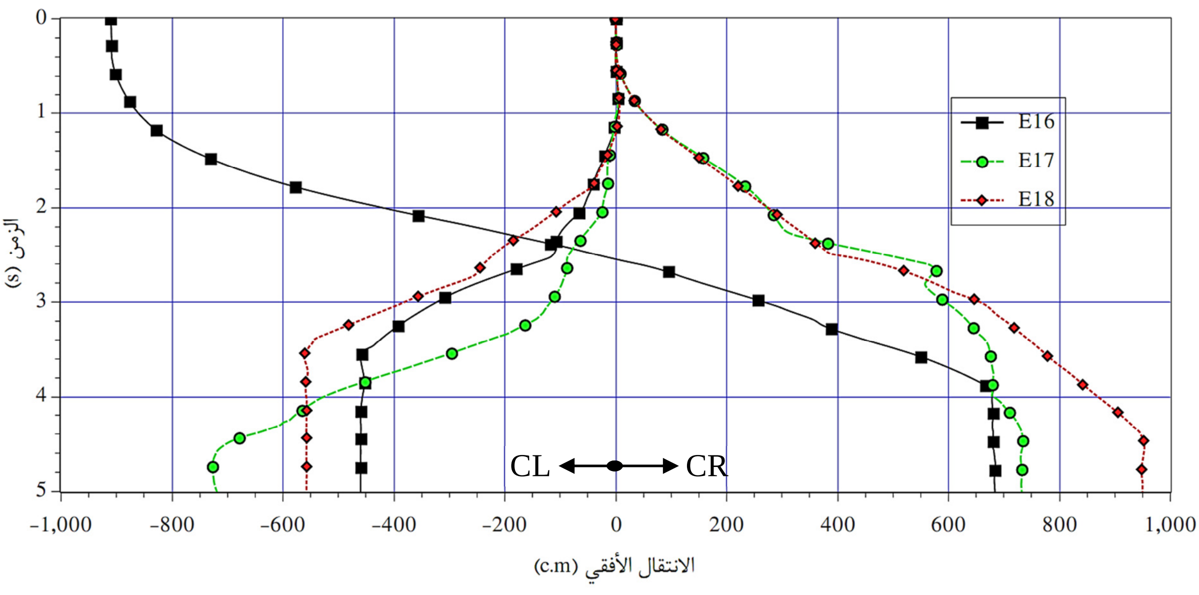
2.18 ثانية



2.58 ثانية

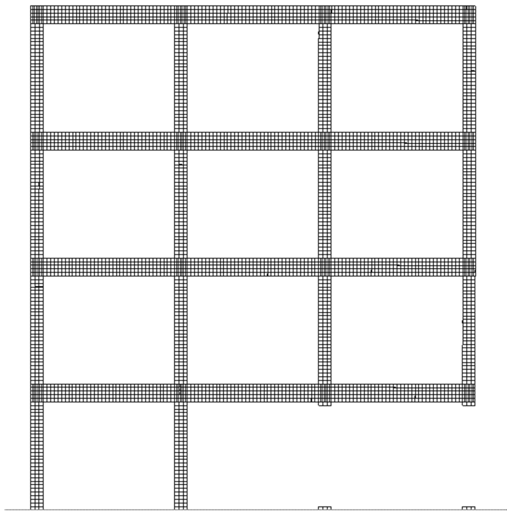


الشكل 9.1.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E17

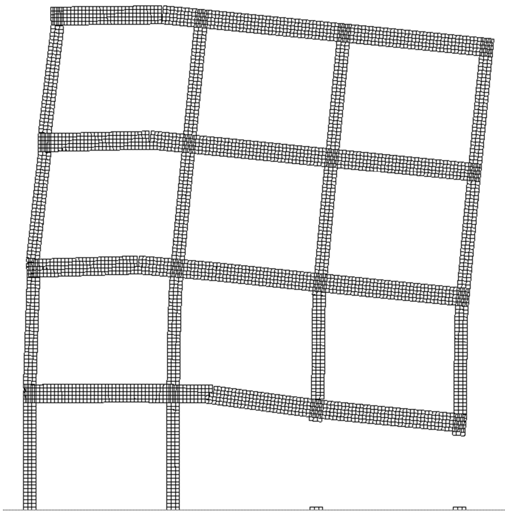


الشكل 10.1.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E16 – E17 – E18

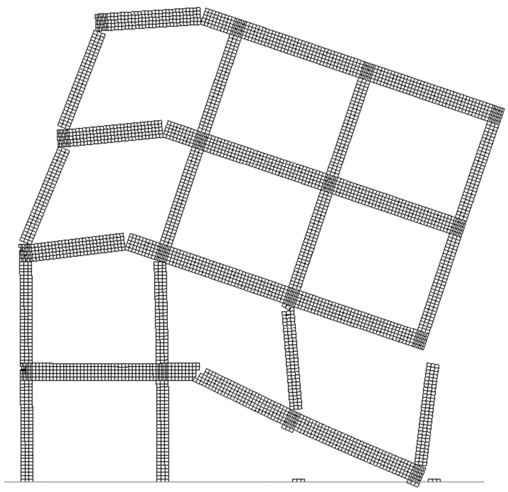
E21



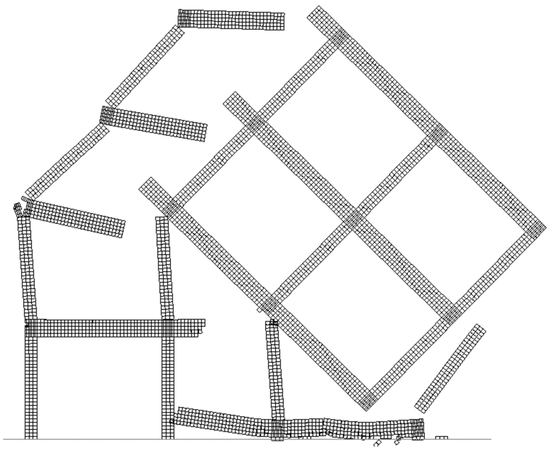
0.31 ثانية



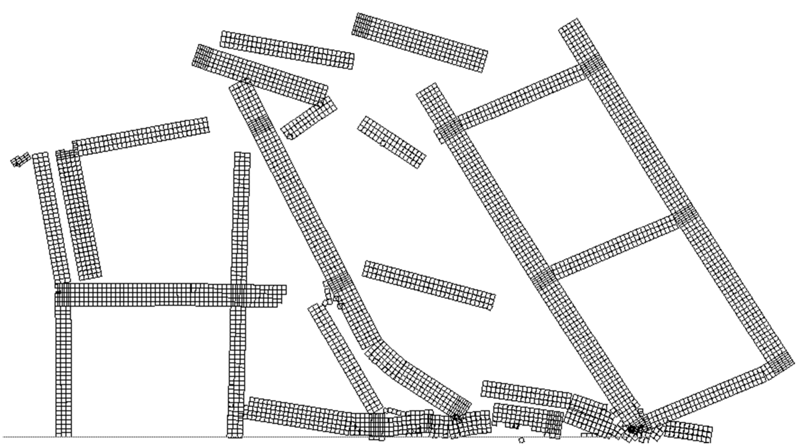
1.28 ثانية



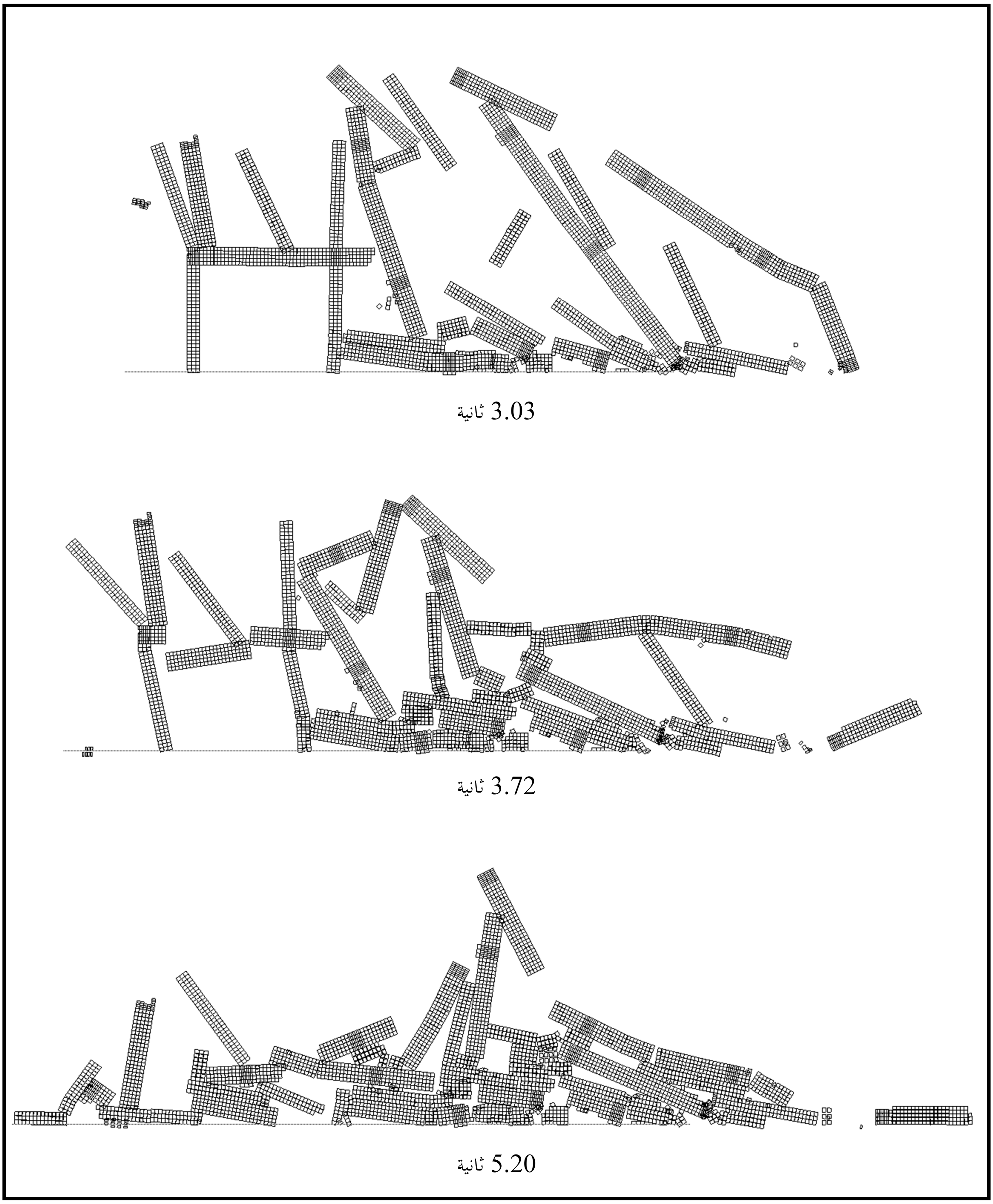
1.74 ثانية



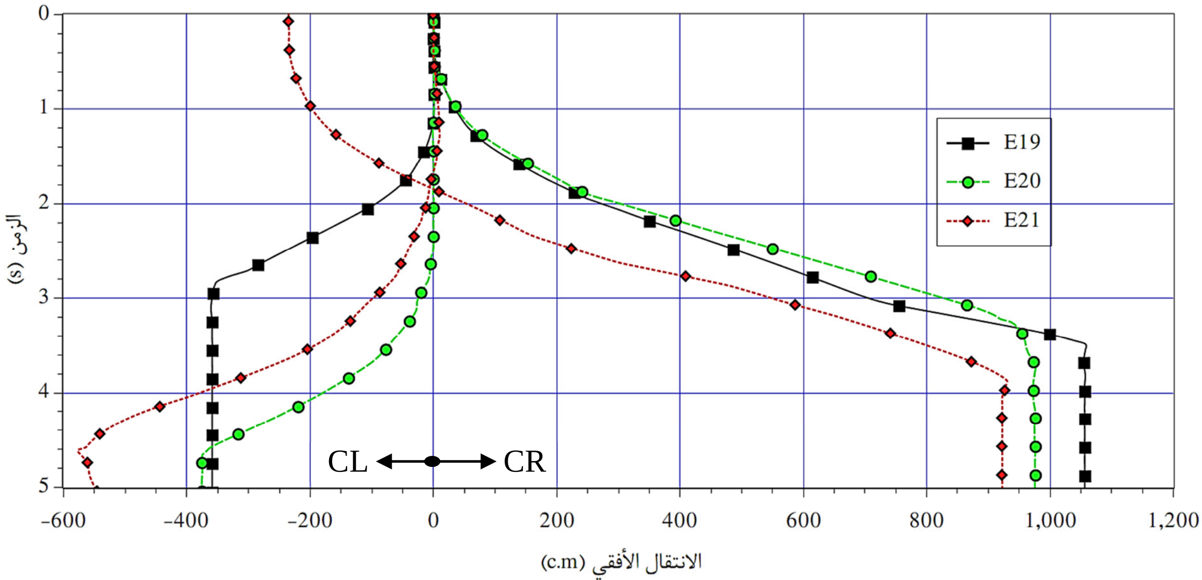
2.21 ثانية



2.66 ثانية

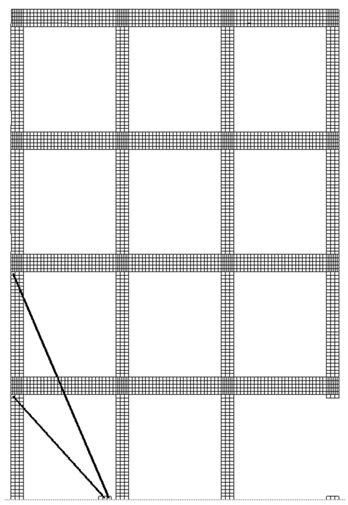


الشكل 11.1.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E21

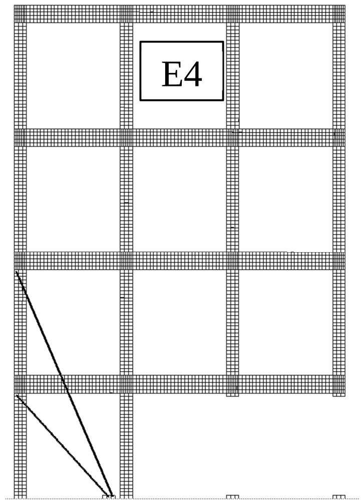


الشكل 12.1.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E19 – E20 – E21

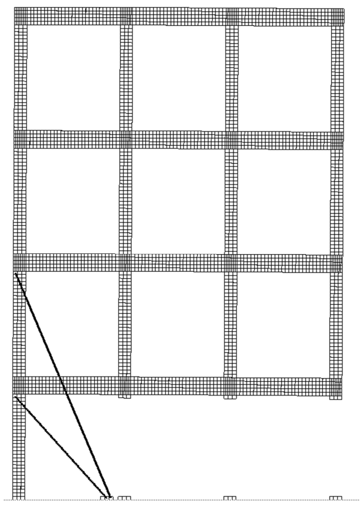
2. الانهيار الظفري التام :



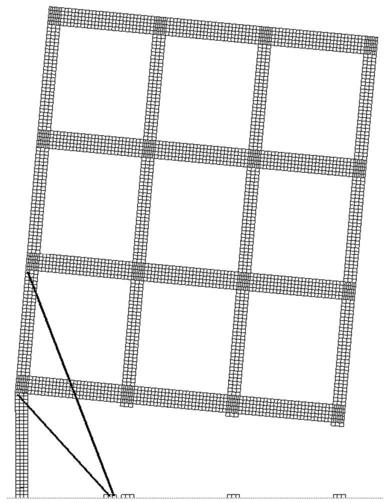
0.01 ثانية



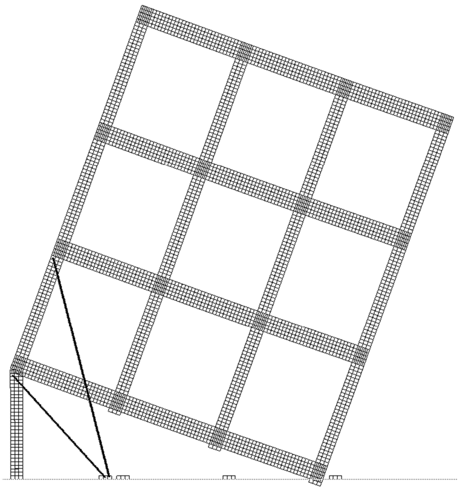
0.31 ثانية



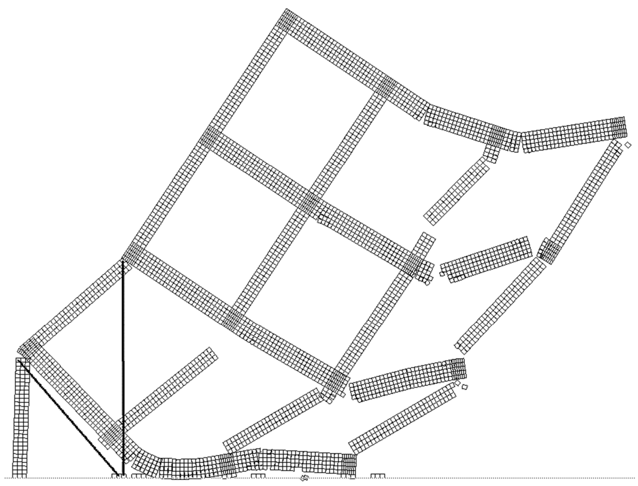
0.61 ثانية



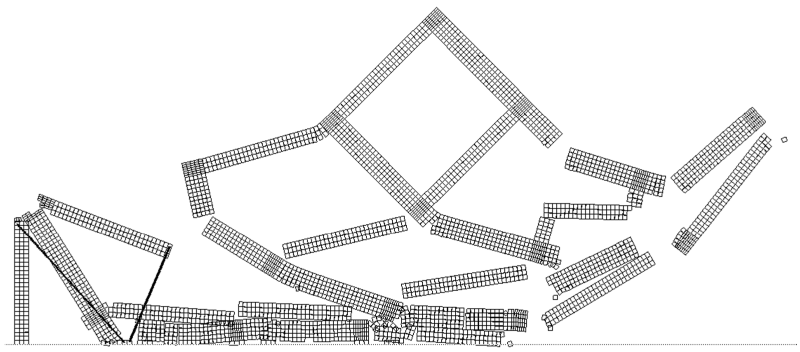
1.10 ثانية



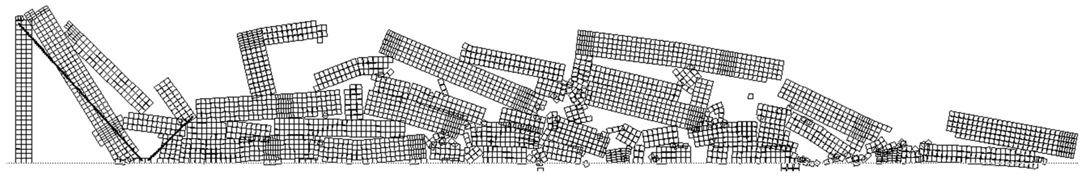
1.60 ثانية



2.04 ثانية

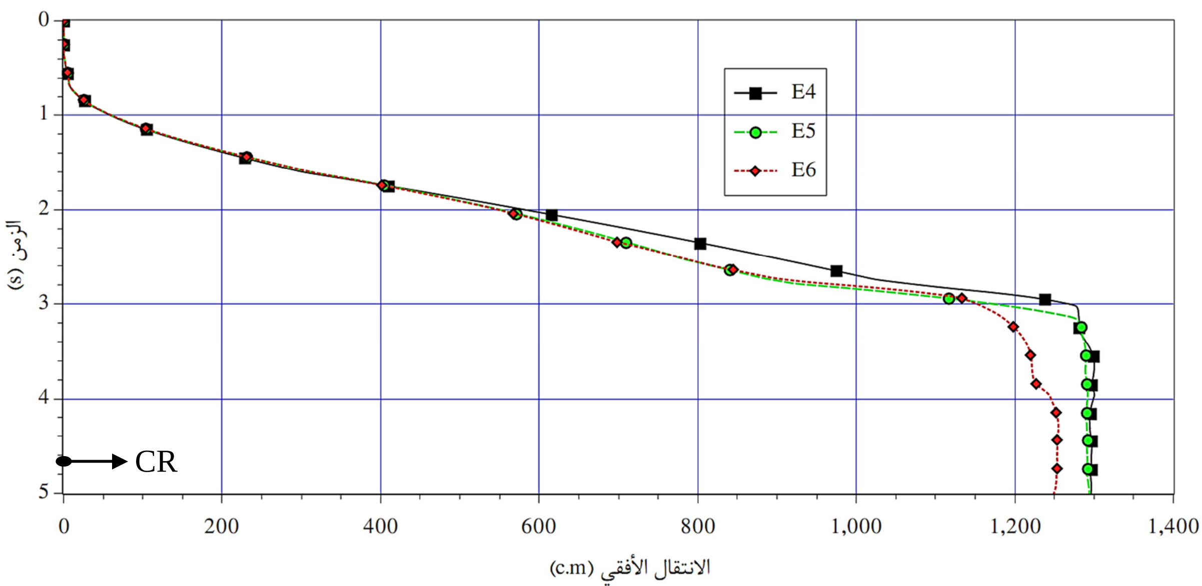


2.50 ثانية

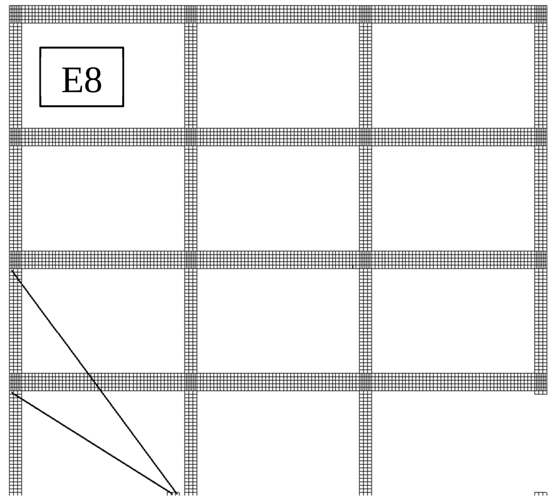


3.91 ثانية

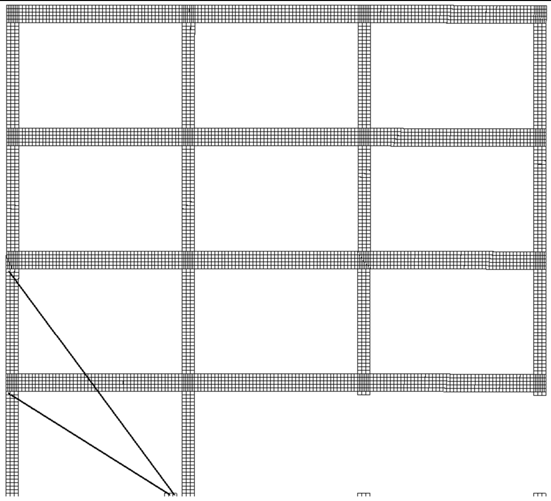
الشكل 1.2.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E4 مع شداد



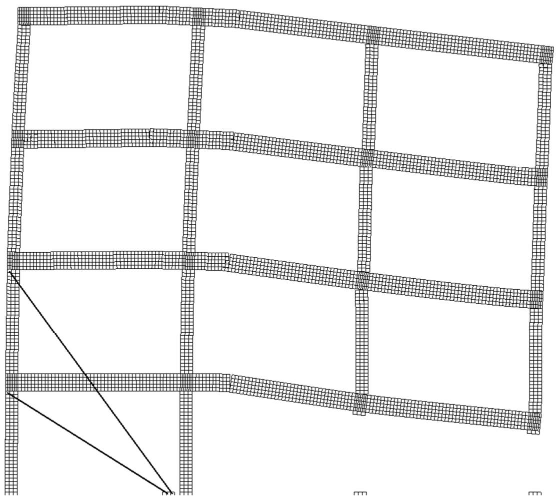
الشكل 2.2.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E6 – E5 – E4 مع شداد



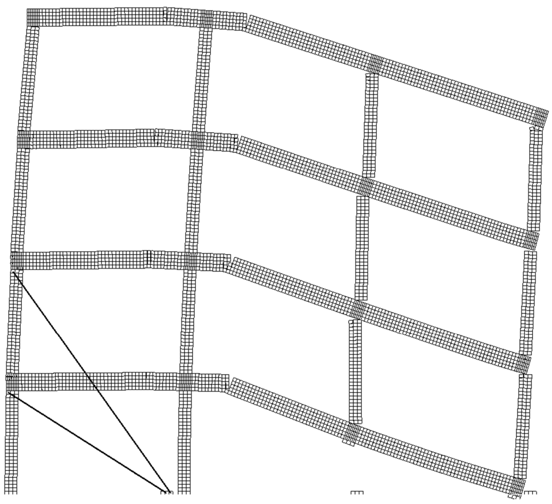
0.01 ثانية



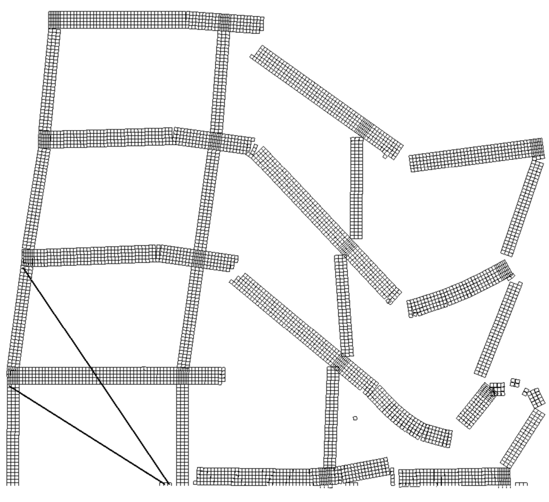
0.31 ثانية



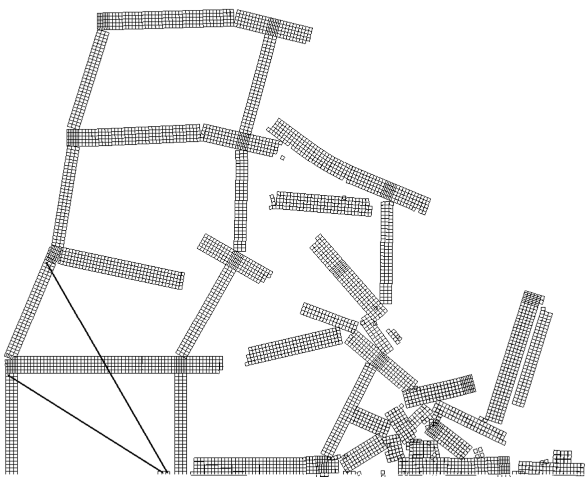
0.94 ثانية



1.26 ثانية



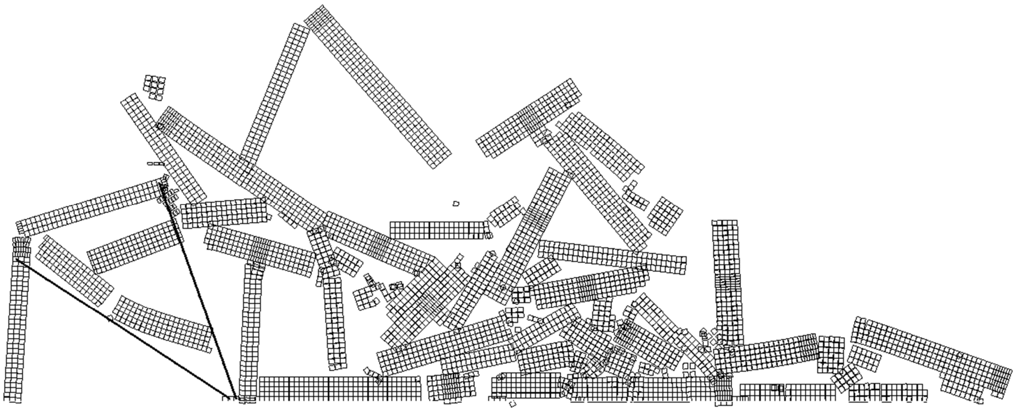
1.70 ثانية



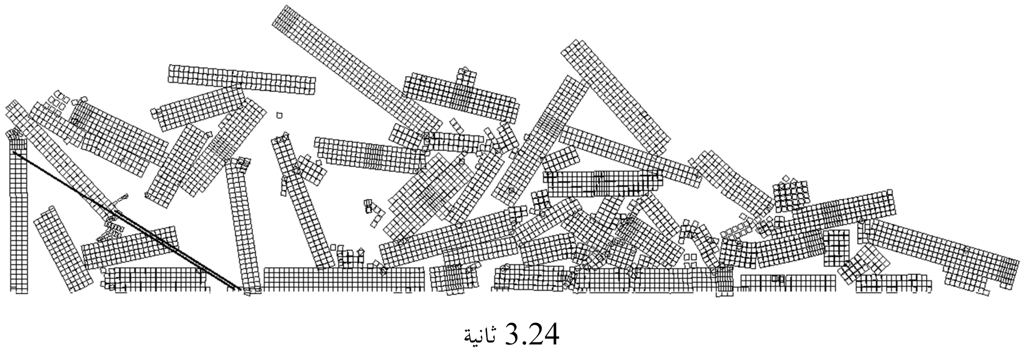
2.57 ثانية



3.24 ثانية

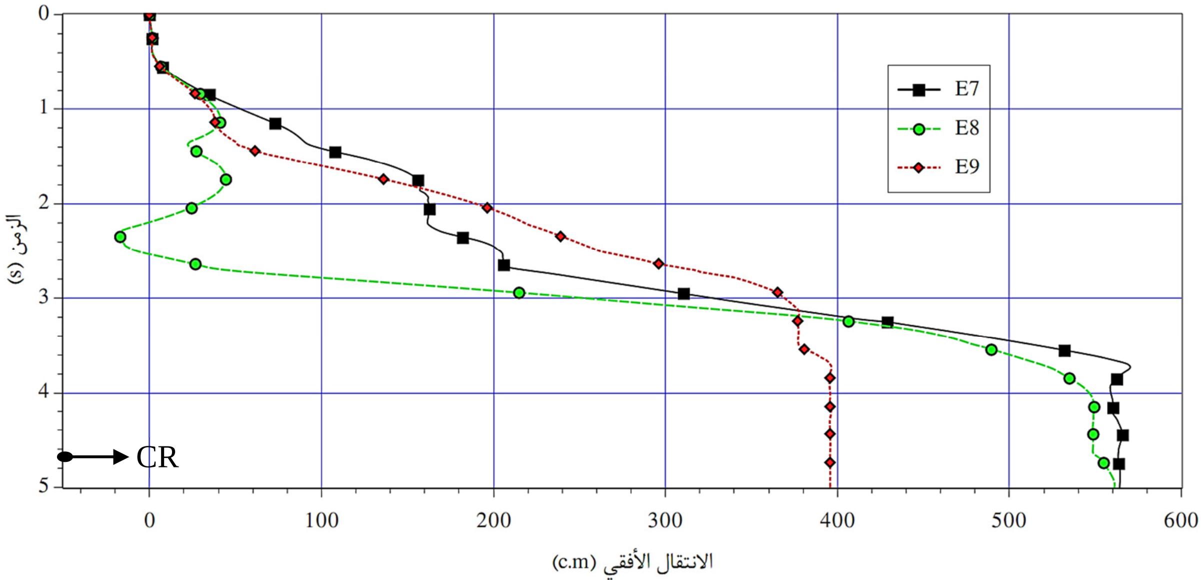


3.95 ثانية



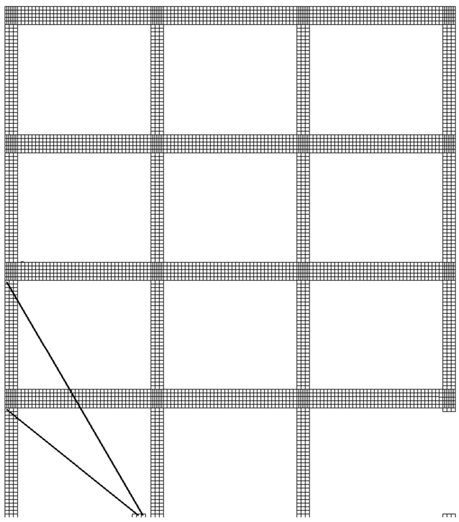
3.24 ثانية

الشكل 3.2.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E8 مع شداد

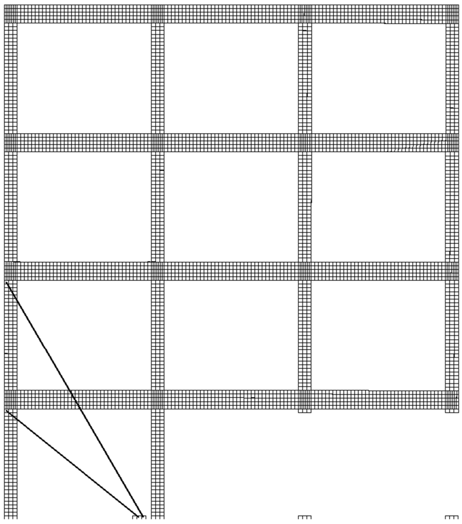


الشكل 4.2.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E9 – E8 – E7 مع شداد

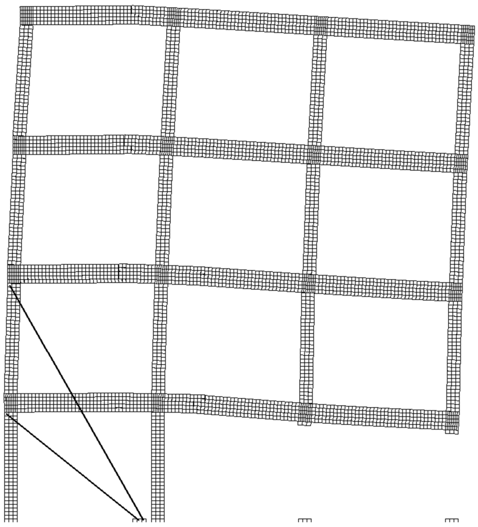
E10



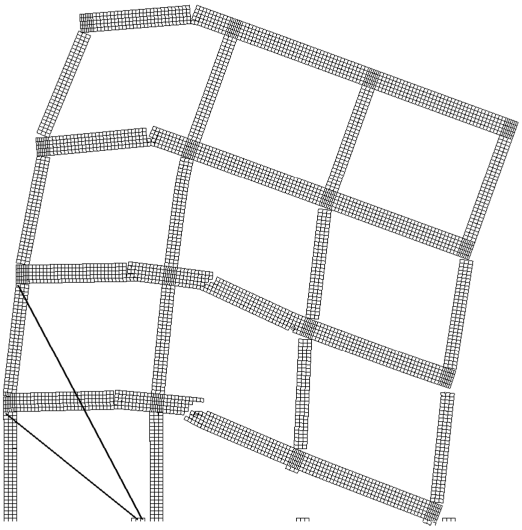
0.01 ثانية



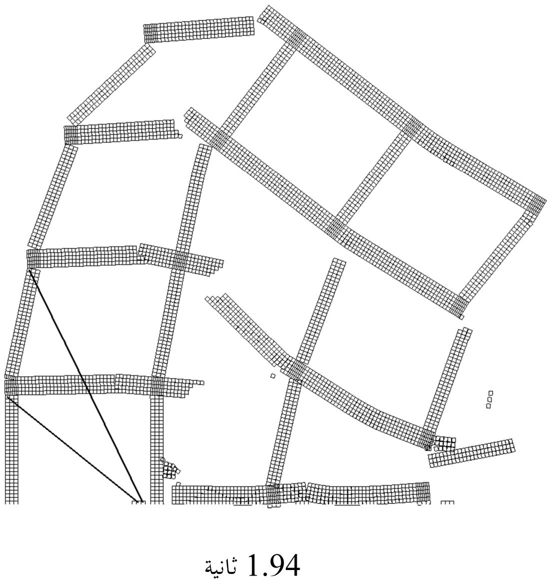
0.31 ثانية



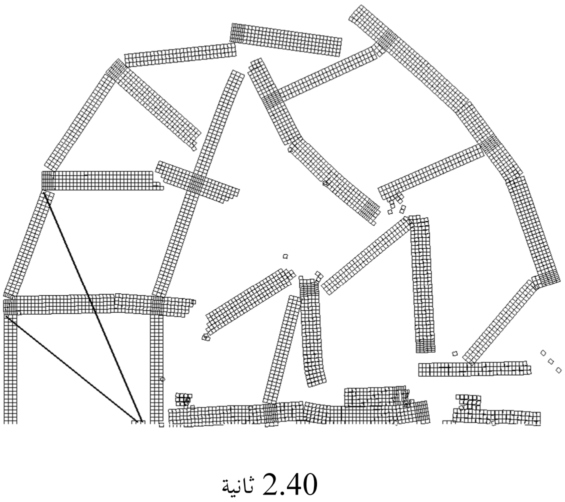
0.95 ثانية



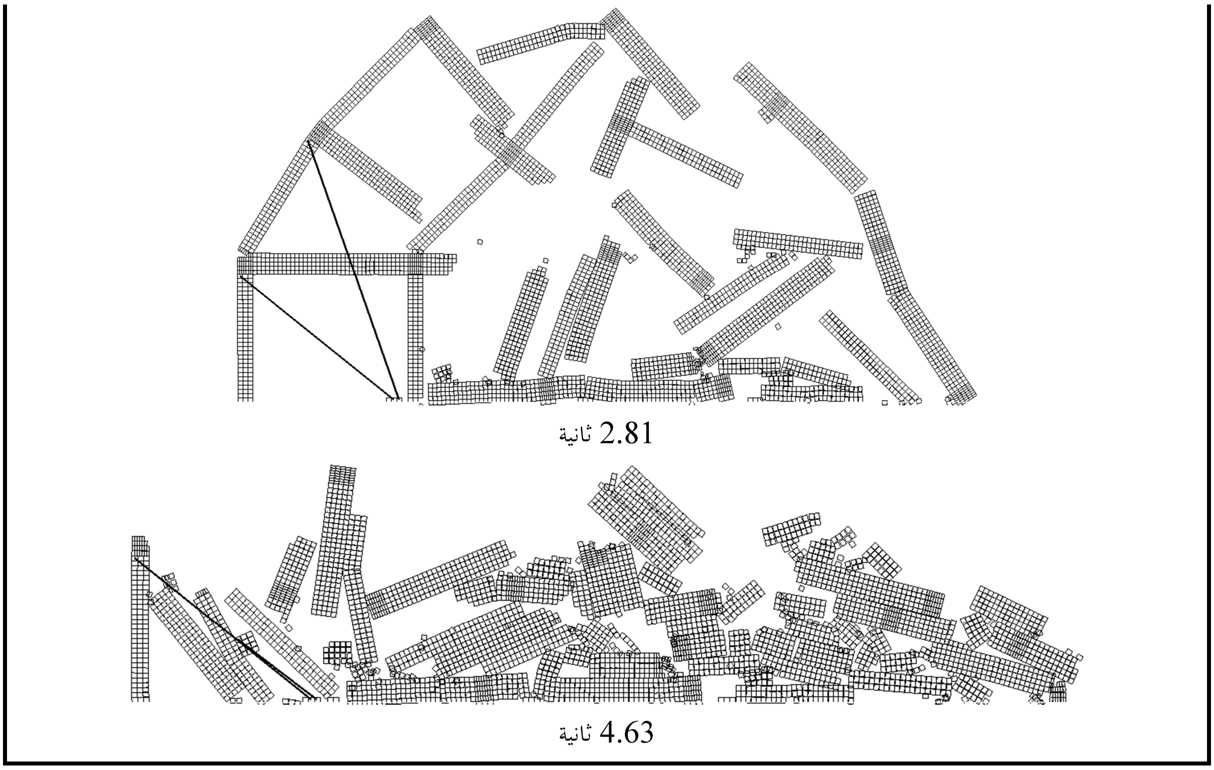
1.56 ثانية



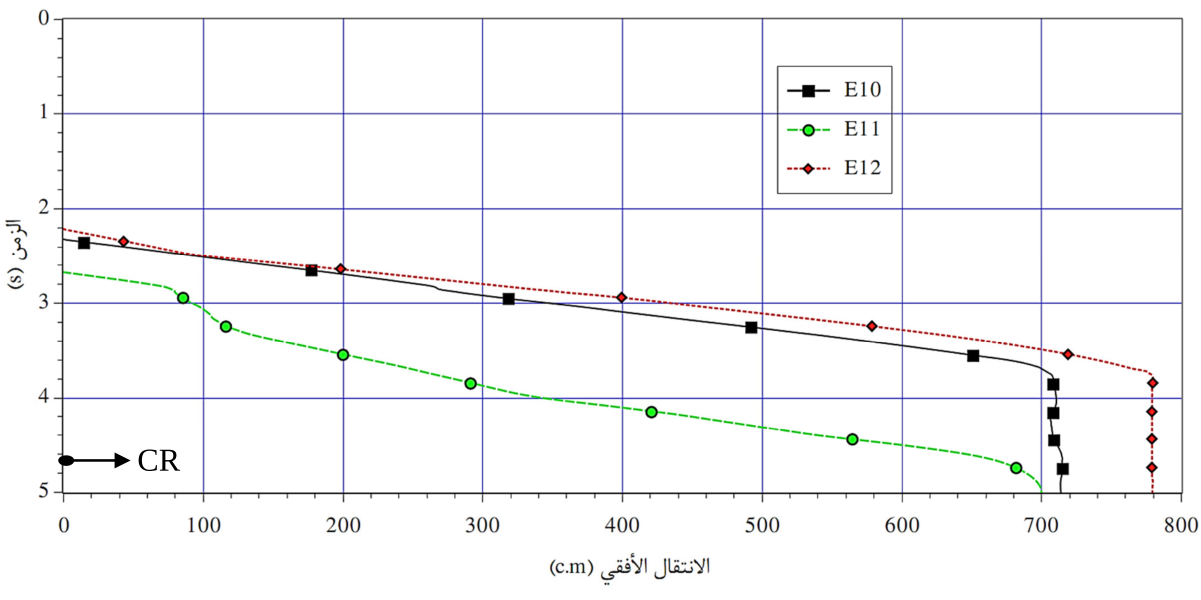
1.94 ثانية



2.40 ثانية

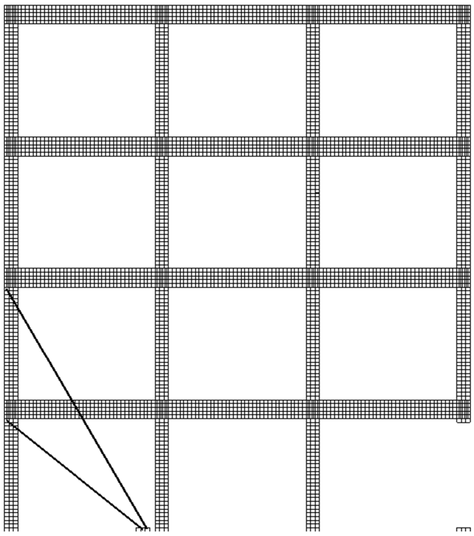


الشكل 5.2.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E10 مع شداد

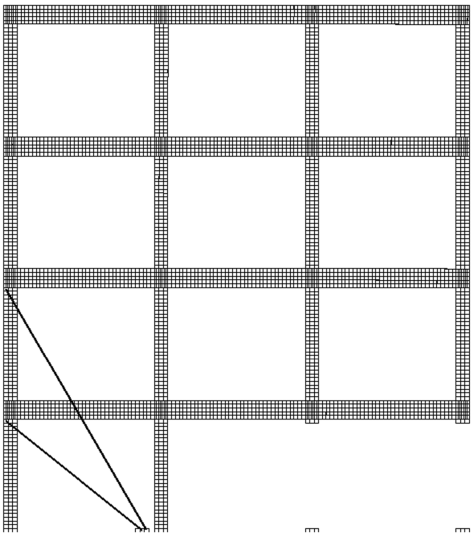


الشكل 6.2.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E10 – E11 – E12 مع شداد

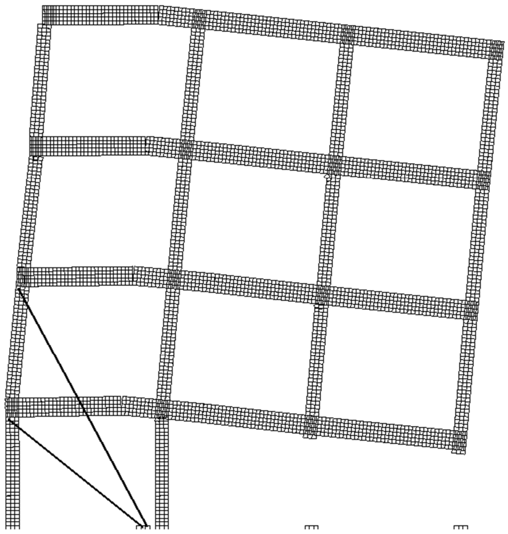
E15



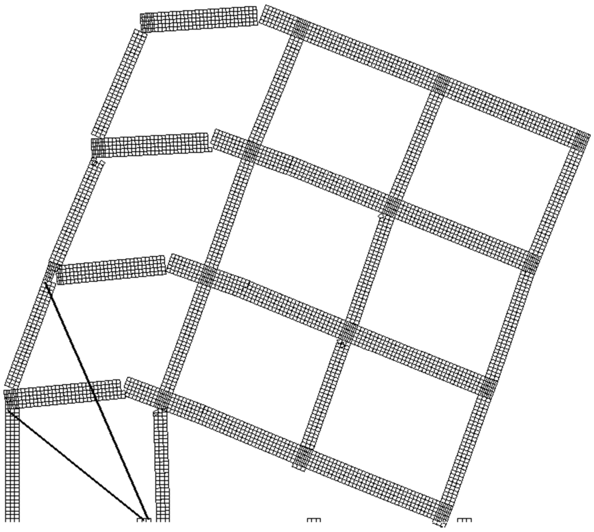
0.01 ثانية



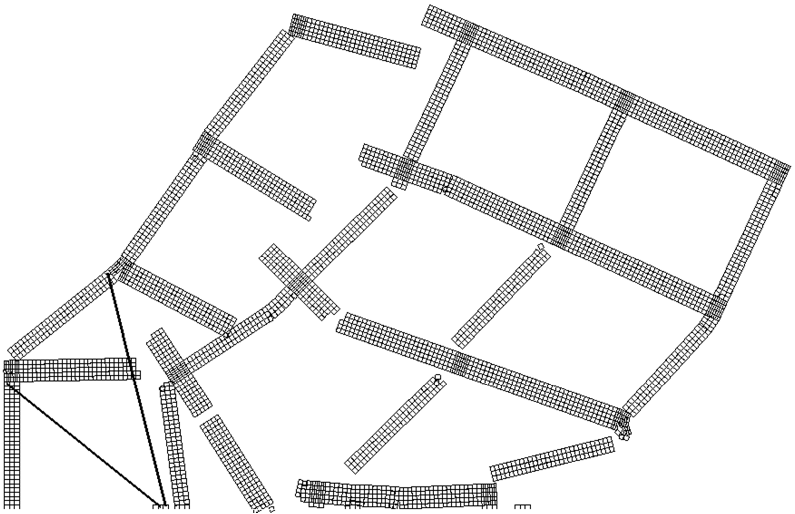
0.31 ثانية



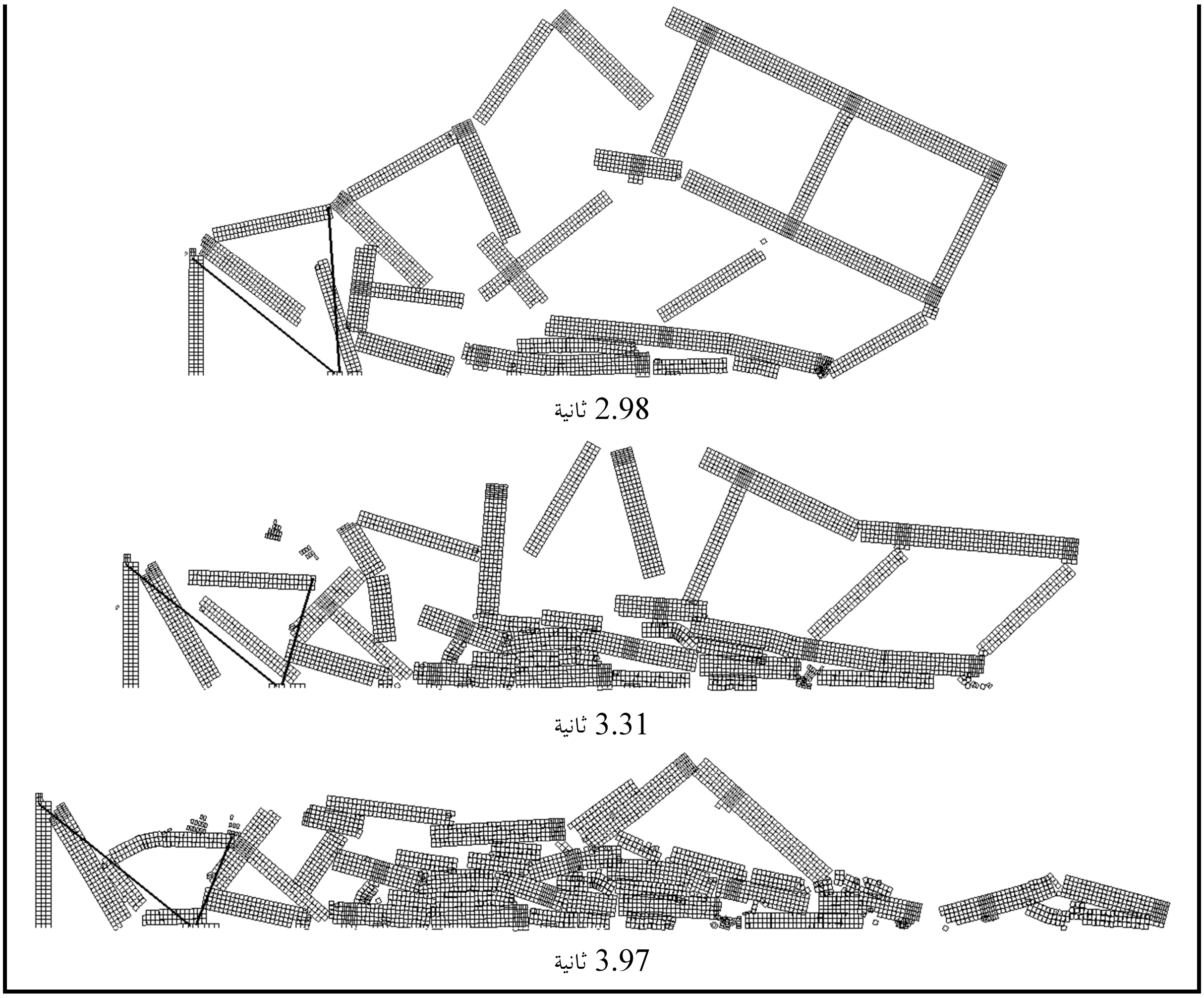
1.44 ثانية



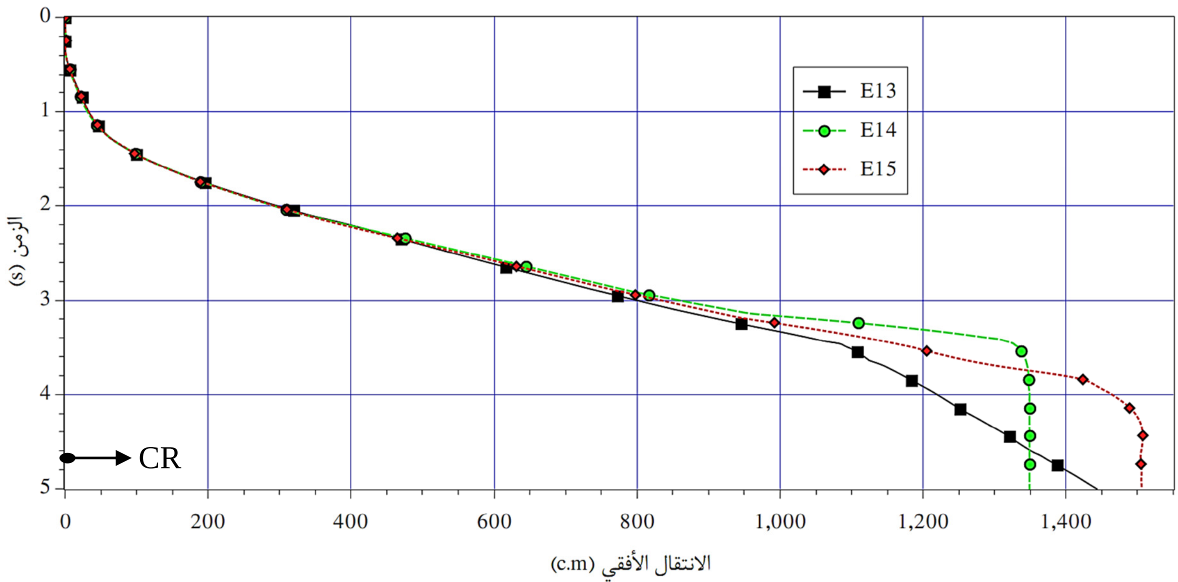
2.05 ثانية



2.60 ثانية

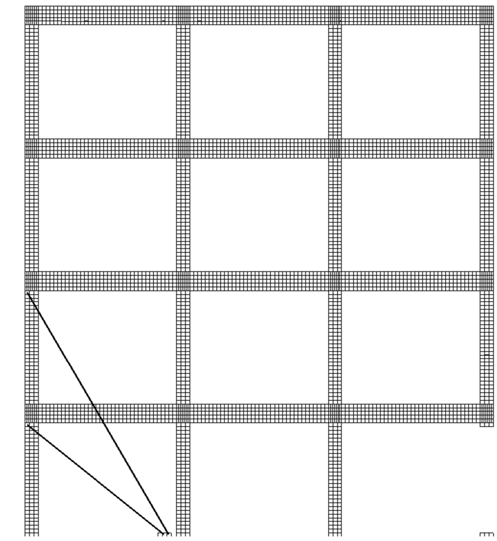


الشكل 7.2.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E15 مع شداد

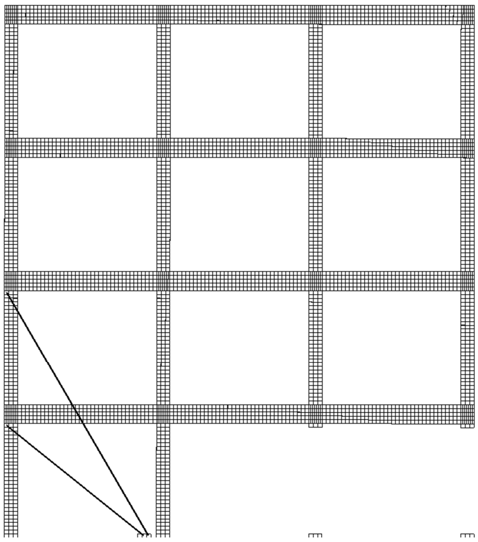


الشكل 8.2.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E15 – E14 – E13 مع شداد

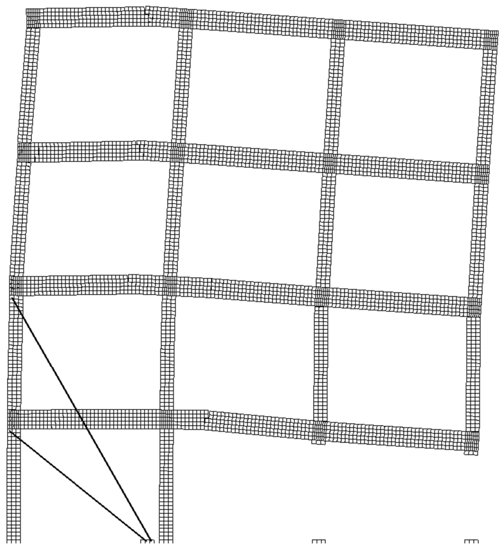
E17



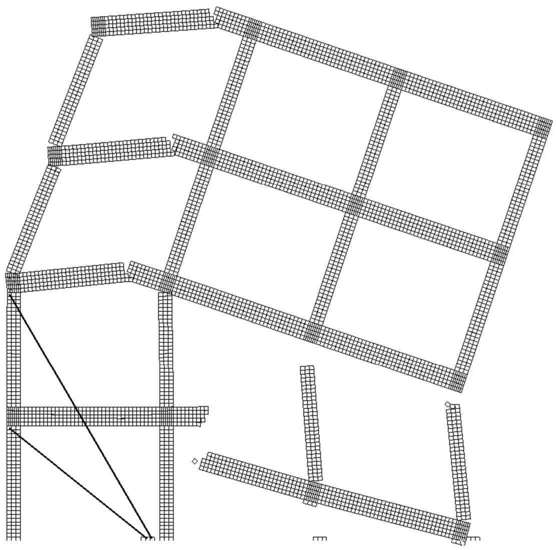
0.01 ثانية



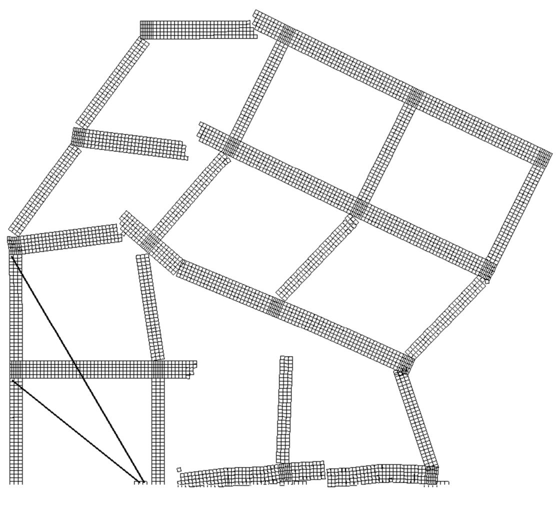
0.31 ثانية



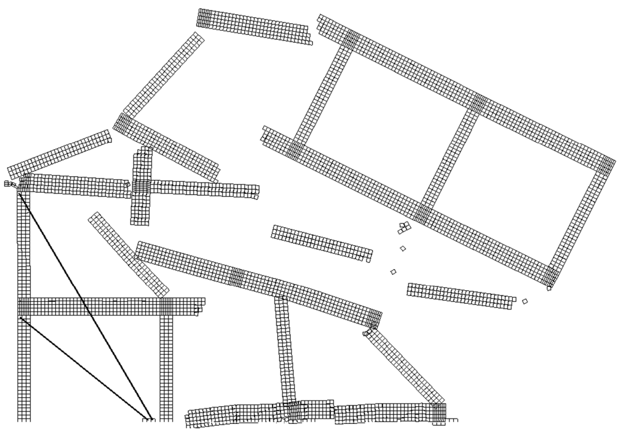
1.01 ثانية



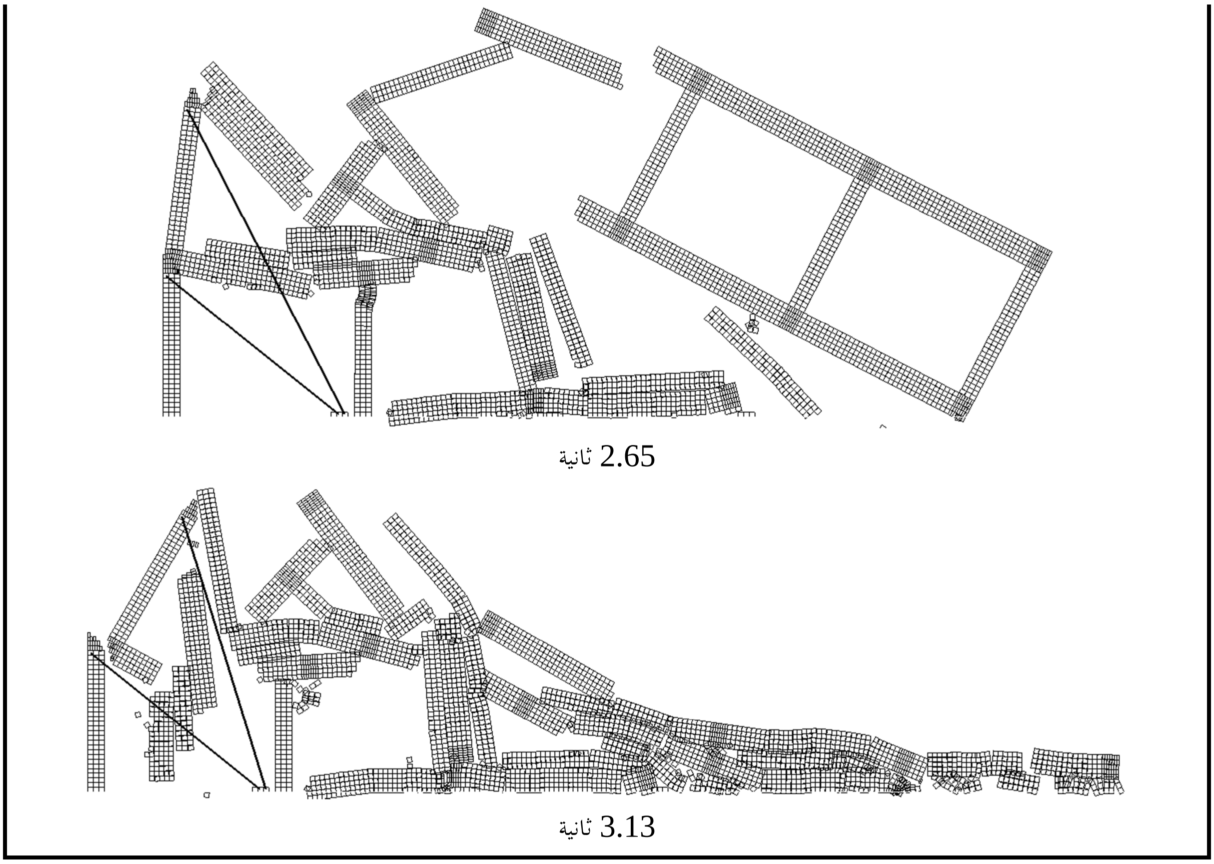
1.57 ثانية



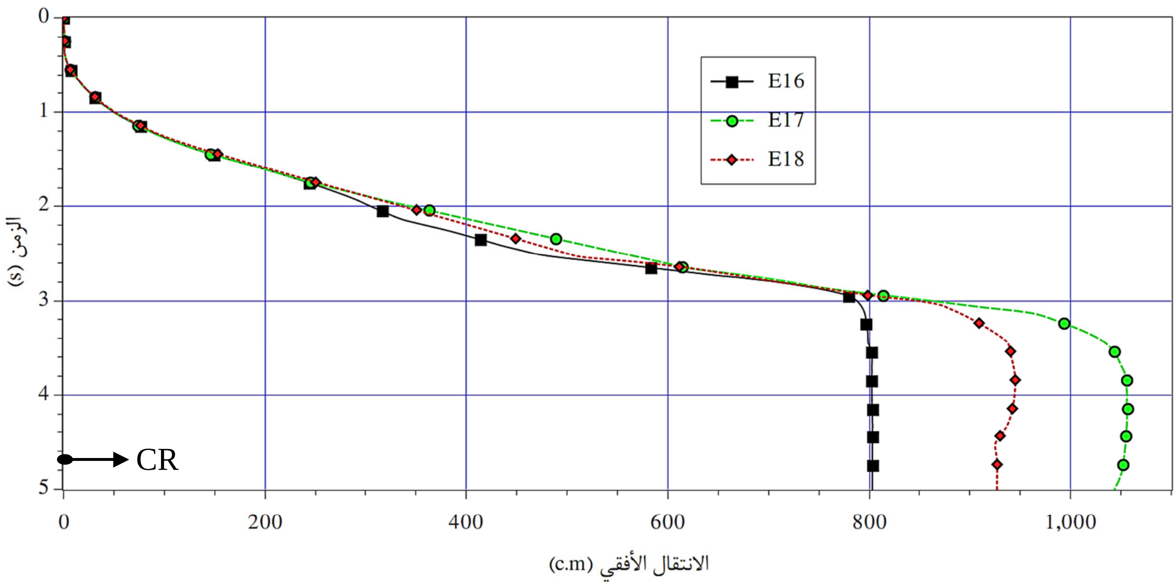
1.86 ثانية



2.23 ثانية

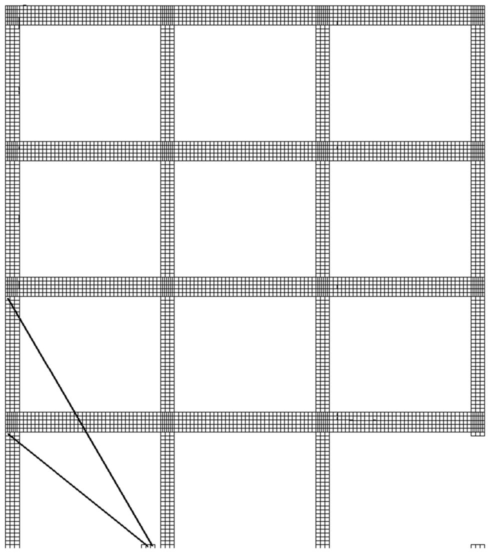


الشكل 9.2.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E17 مع شداد

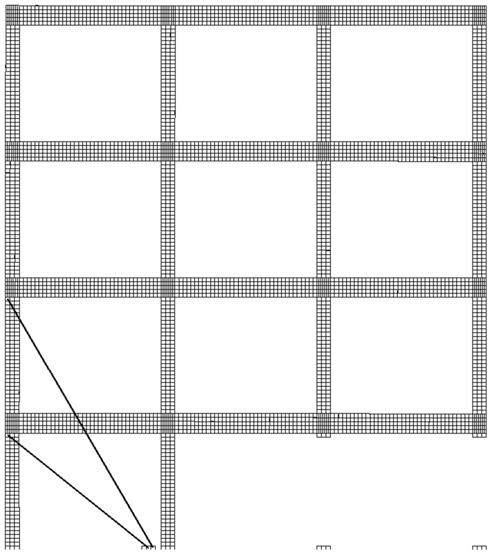


الشكل 10.2.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E16 – E17 – E18 مع شداد

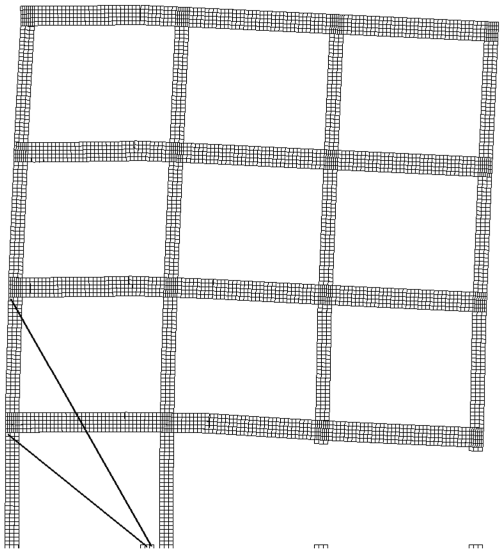
E20



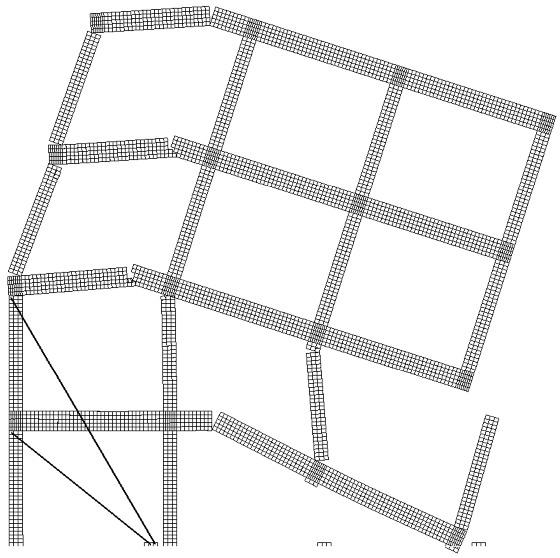
0.01 ثانية



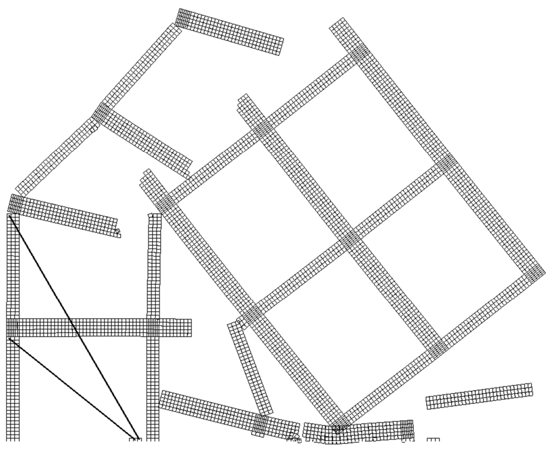
0.31 ثانية



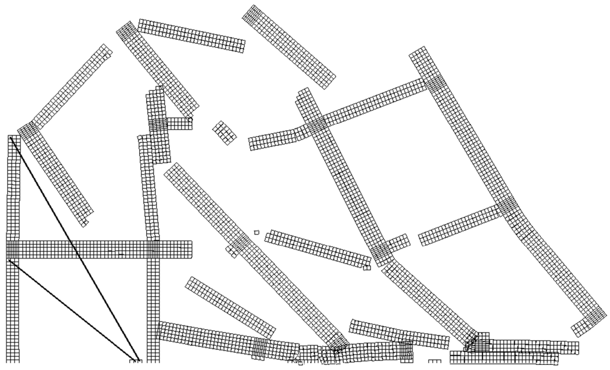
1.01 ثانية



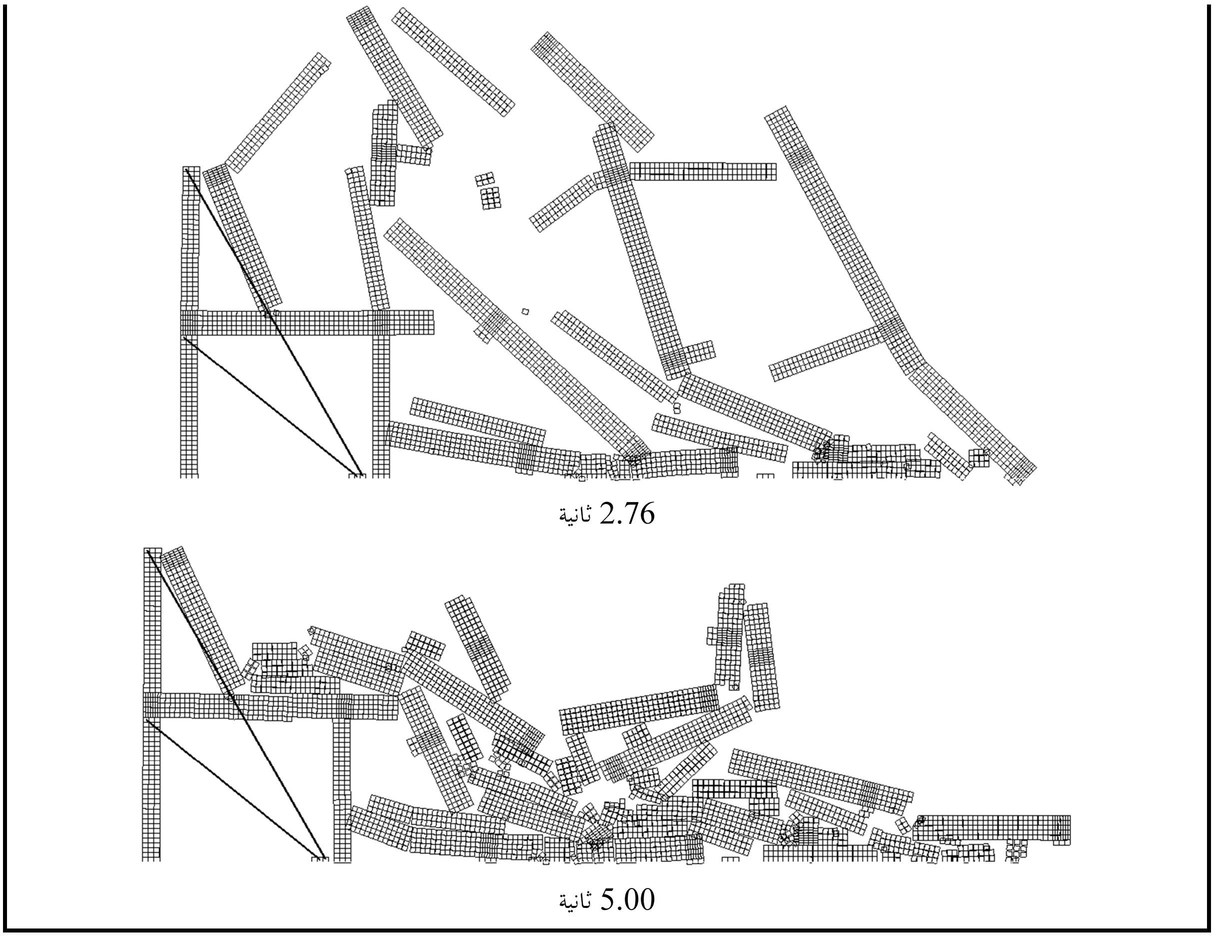
1.70 ثانية



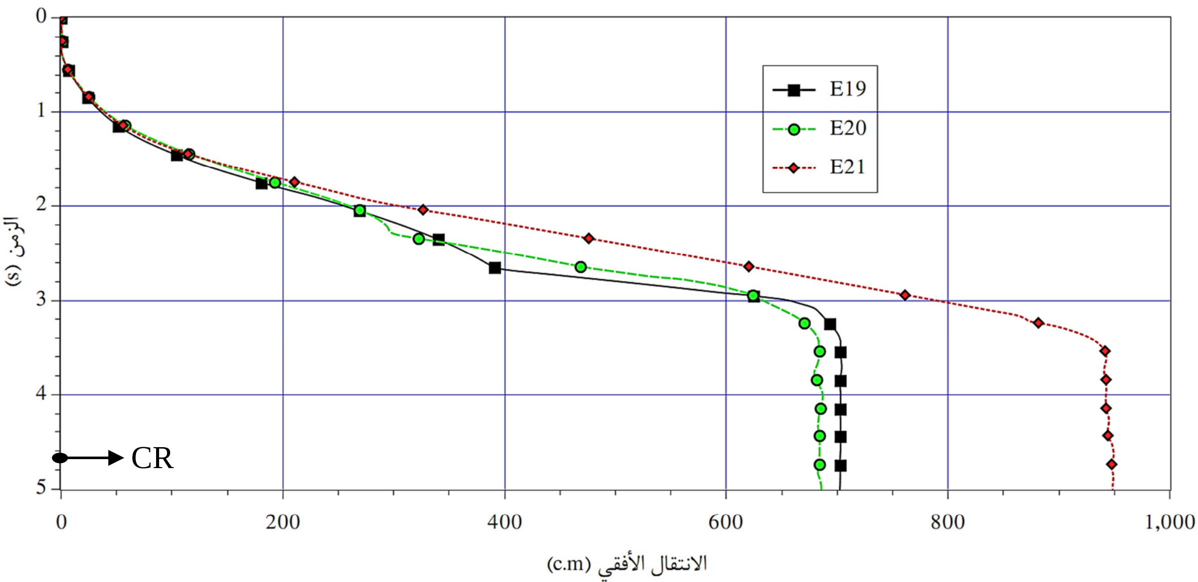
2.29 ثانية



2.64 ثانية



الشكل 11.2.7 : شكل و آلية انهيار النموذج E20 مع شداد



الشكل 12.2.7 : مخطط انتقال قطع الأنقاض الطرفية للنماذج E21 – E20 – E19 مع شداد

Abstract

Applied Element Method (AEM), is a new structural and numerical analysis method, virtually divide a structure into small applied elements which connected through series of springs which have the material properties. This method can analyze a structure through all of its loading stages and scenarios even with extreme loads. AEM can separate the small applied elements through collapse stage, which shows a clear picture of the form of the collapse. Researches show that AEM has a great credibility and high accurate analysis results.

In this study, AEM is used through ELS® to model a group of low-rise 2D framed buildings which simulate old buildings to be removed. A specific load bearing elements (columns) are removed from the structure with various methods to have a progressive collapse. Collapse patterns and figures were observed and studied. Conclusions and recommendations were put in this research to demonstrate many techniques which can help in the case of demolishing and removing unwanted buildings to achieve safety distances for the debris field.

DAMASCUS UNIVERSITY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

STRUCTURAL ENGINEERING DEPARTMENT

Practical Analysis to remove multi-story low-rise building by modeling using Applied Element Method

Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Structural Engineering

by:

Eng. Mhd. Nadhr Al-Olabi

Supervisor :

Dr. Mohamed Darweech

Damascus 2012